UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY

UNIVERSITY OF ILLINOIS
LIBRARY

Class 625 Book T754a Volume 1

F 11-20M

Digitized by the Internet Archive
in 2016 with funding from
University of Illinois Urbana-Champaign Alternates

https://archive.org/details/allgemeineeisenb01tros

ALLGEMEINE
EISENBAHNKUNDE
FÜR
STUDIUM UND PRAXIS

ERSTER TEIL

ANLAGE UND BAU
DER EISENBAHNEN

VON

L. TROSKE
PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE
HANNOVER

MIT 3 TAFELN UND 112 TEXTABBILDUNGEN

LEIPZIG
VERLAG VON OTTO SPAMER
1907

GR5
T754a
N.1

Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig-R.

Vorwort

zum technischen Teil.

Das vorliegende Buch verdankt seine Entstehung einer Anregung der Zeitung des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen, die diese vor sechs Jahren bei Besprechung meiner für das „Buch der Erfindungen“ (1900) verfaßten Arbeit über das Eisenbahnwesen gab. In ihr war zum Ausdruck gebracht, daß die letztere durch eine Abhandlung über die Verwaltung, Verkehrspolitik und wirtschaftliche Seite der Eisenbahnen ergänzt und als selbständiges Werk herausgegeben werden möchte. Die Verlagsbuchhandlung Otto Spamer forderte daraufhin einen höheren Verwaltungsbeamten sowie mich auf, dieser Anregung Rechnung zu tragen.

Inzwischen hatte aber der Lokomotivbau neue Bahnen eingeschlagen. Von Deutschland aus war die Heißdampflokomotive in schnellem Siegeslauf vorgedrungen. Der Einfluß des elektrischen Wettbewerbes, namentlich auch der der denkwürdigen Schnellfahrversuche auf der Berliner Militäreisenbahn sowie die in der Alten und Neuen Welt allgemein gesteigerten Ansprüche des ständig anwachsenden Verkehrs, hatten den gesamten Lokomotivbau frisch belebt und kräftig gefördert. Neue Bauarten von früher nicht gekannter Größe, Schwere und Leistung wurden in allen führenden Eisenbahnländern in Betrieb genommen. Ihre eindruckvollsten Vertreter bildeten i. J. 1906 eine Zierde der Ausstellungen in Nürnberg und Mailand.

Wagenbau und Signalwesen blieben in der Entwicklung nicht stehen. Die elektrische Zugbeleuchtung, die elektrische Weichen- und Signalstellung, nicht minder die Sicherung der Fahrstrecken erfuhren bedeutsame Verbesserungen.

Die Fahrgeschwindigkeiten wurden in allen Hauptländern namhaft gesteigert und die ohne Aufenthalt zu durchfahrenden Zugstrecken vielfach erheblich verlängert.

Alle diese mannigfachen Fortschritte auf eisenbahntechnischem Gebiete machten daher eine Neugestaltung oben genannter Arbeit notwendig. Naturgemäß war auch der didaktische Gesichtspunkt nunmehr etwas stärker zu betonen. Es wurden deshalb u. a. die Bewegungswiderstände der Züge, die Zugkräfte der Lokomotiven, die Bremsen usw. eingehender behandelt.

Konstruktive Einzelheiten jedoch, deren der entwerfende Ingenieur bedarf, sind tunlichst nicht einbezogen, da es dafür ausführliche und vor-

198257

treffliche Werke gibt; dagegen sind die Grundlagen des Eisenbahnwesens nach Möglichkeit klarzulegen gesucht, ohne der geschichtlichen Entwicklung der Hauptzweige den ihr gebührenden Platz zu verkümmern. Ist doch gerade die Geschichte des Oberbaues, des Signalwesens, der Wagen und namentlich der Lokomotiven besonders lehrreich. Sie ermöglicht dem in der Eisenbahnpraxis tätigen Techniker und dem Verwaltungsbeamten sowie dem Studierenden der technischen Wissenschaften und dem dem Eisenbahnwesen ferner stehenden Nichtfachmanne einen nützlichen Einblick in den Werdegang dieser Errungenschaften zu tun und zu erkennen, wie sich alle die mannigfachen Einzeldinge nach und nach aus Unvollkommenem zur heutigen hohen Entwicklungsstufe umgebildet haben. Sie lehrt aber auch überzeugend, mit welchen Schwierigkeiten die Praxis des Eisenbahndienstes zu kämpfen hat und wie hohe Anforderungen diese an ihre Bauausführungen und Betriebsmittel stellen muß. Es sei hier ausdrücklich auf die nach dem Jahre 1850 einsetzende neuzeitliche Entwicklung der Dampflokomotive hingewiesen, deren auf Hebung der Leistung und der wirtschaftlichen Ausnutzung hinzielende vielseitige Ausgestaltung entsprechenden Ausdruck in den drei Hauptabschnitten: Kurvenbewegliche Lokomotiven, Verbundlokomotiven und Heißdampflokomotiven gefunden hat. Namentlich dürfte die auf vier Texttafeln gebrachte zeichnerische Darstelllung der in den letzten drei Jahrzehnten erfolgten Ausbildung der zwei- und mehrzylindrigen Verbundlokomotive, die wohl zum ersten Male in solcher Vollständigkeit gegeben ist, die volle Beachtung, auch des Fachmannes, finden, ebenso die im III. Teil bildlich dargelegte Entwicklung der Zahnradlokomotive. Weist doch die letztere in bezug auf den die Grundlage eines sachgemäßen Zahnbahnbetriebes bildenden Antrieb der Zahntriebräder zurzeit nicht weniger als 30 Abarten (mit Dampfbetrieb) auf, wovon 12 auf die reine Zahnradlokomotive entfallen und 18 auf die vereinigte Zahnrad- und Reibungslokomotive.

Um den Umfang des Buches nicht zu sehr auszudehnen, war allerdings an vielen Stellen äußerste Beschränkung des Stoffes geboten. Durch die Beifügung zahlreicher Quellenangaben in Fußnoten ist der Leser jedoch in den Stand gesetzt, sich erforderlichenfalls über die wichtigeren Punkte eingehenderen Aufschluß a. a. O. zu verschaffen.

Eine angenehme Pflicht ist es mir, den zahlreichen in- und ausländischen Eisenbahnverwaltungen, Lokomotivfabriken und Fachgenossen, die meine Arbeit durch freundliche Auskunft sowie Überlassung von Zeichnungen, Photographien und Drucksachen unterstützt haben, auch an dieser Stelle verbindlichst zu danken.

Nicht minder sage ich der Verlagsbuchhandlung Dank für die reiche Ausstattung des Buches mit sorgfältig hergestellten Textabbildungen, Karten und Tafeln.

Hannover im September 1906.

L. Troske.

Inhaltsverzeichnis zum ersten Teil.

Seite

Einleitung 3

I. Ausbreitung der Bahnen.

Linz-Budweiser Eisenbahn (1828) 6
Deutschlands erste Lokomotivbahn (1835) 7
Die ersten europäischen Lokomotivbahnen 8
Länge der Eisenbahnen in den einzelnen Ländern 10
Zahl der Lokomotiven und Wagen . . . . . 13 u. 15
Güterverkehr in Deutschland 14
Zahl der Stationen in Berlin, Paris und London 16

II. Einteilung der Bahnen, Spurweite.

Einteilung der Bahnen 17
Spurweite (Breit-, Voll- und Schmalspur) 19
Festiniogbahn 21
Wallückebahn 22
Darjeelingbahn 24
Kleinste Schmalspurbahnen 24
Einfluß des Winddruckes auf die Spurweite 24
Transandinobahn 25

III. Anlagekosten.

Kosten der Vollspurbahnen 26
Kosten der Schmalspurbahnen 27

IV. Bauliches und Zugwiderstände.

Die Vorarbeiten 27
Kraftstationen für die Bauausführung 29
Bewegungswiderstände der Eisenbahnzüge 30
Eigenwiderstand 31
Luftwiderstand 32
Krümmungswiderstand 34
Steigungswiderstand 35
Zuglast auf verschiedenen Steigungen . . . . . 135 u. 36
Die maßgebende Steigung 37
Ermäßigung der Steigung in Krümmungen und Tunneln 38
Bremsgefälle 39
Ausgeführte Krümmungshalbmesser (Kleinstwerte) 39
Ausgeführte Steigungsverhältnisse (Höchstwerte) 41

V. Linienführung.

1. Ausfahren von Seitentälern:
Semmeringbahn 45
Hohe Talbrücken 47
Talbrücke bei Müngsten 48
Talbrücke über den Viaur 49

Seite

Hervorragende Eisenbahnbrücken (Tay-, Firth of Forth-, Britanniabrücke) 50
Brennerbahn 52
Yverdon-St. Croixbahn 54
2. Entwicklung durch Kehren:
a) Bogenkehren.
Tunnelkehren (Brennerbahn) 53
Offene Kehren (Colorado Midlandbahn, Denver- und Rio Grandebahn) . 55
Holzunterbauten (Trestle Works) 55
Schneegalerien 56
b) Spitzkehren.
Einfache Spitzkehre 56
Einfache Spitzkehren der Callao-Oroyabahn 57
Doppelte Spitzkehre 57
Doppelte Spitzkehren der Tanga-Muhesabahn 59
Doppelte Spitzkehren der Darjeelingbahn 59
Doppelte Spitzkehren der Baltimore-Ohiobahn 59
Doppelte Spitzkehren der Callao-Oroyabahn 60
Dreifache Spitzkehre der chinesischen Ostbahn. 59
3. Entwicklung durch Schleifen:
Einfache und doppelte Schleife 61
Doppelschleife der Callao-Oroyabahn 61
Schleifen der Schwarzwaldbahn 62
Schleifen der strategischen Bahn (Schwarzwald) 63
4. Entwicklung durch Schlingen:
Tunnelschlinge der strategischen Bahn (Schwarzwald) 66
Offene Schlinge der Union-Pacificbahn 67
Offene Doppelschlingen der Darjeelingbahn 67
Tunnelschlingen u. Doppelschleife der Gotthardbahn (mit Tafel) 68
Doppelschlinge in der Biaschinaschlucht 69
Der St. Gotthardtunnel 70
Schlingen u. Schleifen der Albulabahn (mit Tafel) 71
Große Alpentunnel 72
Gesteinswärme im Simplontunnel 73
Lüftung und Kühlung im Simplontunnel 74
Elektrischer Zugbetrieb im Simplontunnel 75
Höhenlage der Gebirgsbahnen (mit Tafel) 76
Bergkrankheit 78

VI. Oberbau.

Geschichtliche Entwicklung der Fahrbahn 79
Reynolds' gußeiserner Schienenbelag 80
Currs Winkelschiene 80
Jessops Pilzschiene 81
Jessops Fischbauchschiene 82
Mängel der Steinunterlagen (für Schienen) 83
Birkinshaws Walzschiene 83
Gleis der Liverpool-Manchester Bahn 1830 84
Gleis der Nürnberg-Fürther Bahn 1835 84
Flachschiene der Leipzig-Dresdener Bahn 1837 86
Breitfußschiene von Stevens 86
Breitfußschiene von Vignole 86
Breitfußschiene der preußischen Staatsbahnen . . . . . 87 u. 101
Breitfußschiene der belgischen Staatsbahnen (Goliathschiene) 87
Brückschiene von Strickland und Brunel 87
Sattelschiene von Barlow 87
Doppelkopfschiene von Locke 88
Ochsenkopfschiene 88
Schienenlänge und -gewicht 88
Der Schienenstoß (Gleichstoß und Wechselstoß) 89
Blattstoß 90
Stegschiene 90
Ruhender und schwebender Stoß 91
Laschenverbindung 92
Stoßbrücken 93
Fußlaschen 94
Schweißen der Schienen 95

Gleisbau.

Seite

Holzschwellen (Nutzen der Tränkung) 96
Breitfußschienenoberbau 97
Hakennagel, Schwellenschraube und Unterlagsplatten 97
Verdübelung der Schwellen 98
Stuhlschienenoberbau 99
Holzdübel und Nägel für Schienenstühle 100
Oberbaugewicht 100
Eisenschwellen 101
Hakenplatte und Klemmplättchen 101
Schwellenschiene 102
Rillenschiene (Haarmann und Phönix) 103
Glockenunterlagen 103
Wandern der Schienen 103
Stemmlaschen 104
Spurerweiterung in Gleisbogen 104
Übergangsbogen 105
Einfluß der Fliehkraft auf Fahrzeuge 105
Schienenüberhöhung 106
Größte zulässige Geschwindigkeit in Gleisbogen 107
Größte zulässige Geschwindigkeit auf Gefällstrecken 108
Übergangsrampen 108
Neigungswechsel 109
Streich- oder Zwangschienen in Gleiskrümmungen 109
Weichen 110
Sicherheits- und Entgleisungsweichen 110
Gleisabstand 112
Umgrenzung des lichten Raumes 112

Tafeln.

zu Seite

Linienentwicklung der Gotthardbahn durch Schleife und Schlingen 70
Linienentwicklung der Albulabahn durch Schleife und Schlingen 72
Höhenpläne von Gebirgsbahnen 78

Berichtigungen zum ersten Teil.

S. 19 Z. 22 v. o. lies: Isambard Kingdom Brunel, Sohn des berühmten Erbauers usw.
S. 29 Z. 8 v. u. „ August 1898 statt Herbst 1898.
S. 36 Z. 13 v. u. „ 1:17,8 statt 1:178.
S. 36 Z. 21 v. u. „ die statt da.
S. 38 Z. 17 v. o. „ Alvaneu statt Alvanen.
S. 41 Z. 21 v. o. „ Benevento-Termoli (Nebenbahn).
S. 41 Z. 22 v. o. „ Terni-Aquila (Nebenbahn).
S. 41 Z. 22 v. o. „ Sulmona statt Solmona.
S. 41 Z. 19 v. u. „ Central und Union Pacific.
S. 45 Fußnote lies: Sierra Nevada in 2140 m und die Felsengebirge in 2514 m Höhe über Meer.

ANLAGE UND BAU DER EISENBAHNEN

Einleitung.

Seit den Tagen der Einführung der Buchdruckerkunst hat wohl kaum eine andere Erfindung eine solche Fülle umwälzender und zugleich segensreicher Wirkungen gezeitigt, wie die der Eisenbahnen. In unaufhaltsamem Siegeslauf haben sie Raum und Zeit überbrückt. In wenigen Tagen läßt sich durch sie der Güteraustausch weit auseinander gelegener Festlandsbezirke bewirken, kann der Reisende weite Ländergebiete durcheilen, vermag die Landesverteidigung ihre Heere an die bedrohten Landesgrenzen zu senden und für schnellen Nachschub des Ersatzes jeglicher Art zu sorgen. Waren früher beispielsweise zu einer Reise von Berlin nach Paris mit der Schnellpost etwa 5 Tage erforderlich, so legt man heute die Strecke in dem mit allem Komfort ausgestatteten Eilzuge in $16^1/_2$ Stunden zurück. Gewaltig ist der Aufschwung, den Handel und Gewerbe durch die Eisenbahnen genommen haben. Diese sind im Verein mit den Dampfschiffen die Lebensadern des modernen Weltverkehrs, die Bindeglieder der Völker und Länder geworden. Sie erschließen die abseits gelegenen Gegenden, wecken Gewerbetätigkeit in ihnen, führen deren Städten und Ortschaften neues Leben, neue Triebkraft zu, bringen sie zur Entwickelung und zur Blüte. Sie verbilligen und verbessern die wirtschaftlichen Güter, vermehren die Annehmlichkeiten des Lebens, erhöhen den Lebensgenuß, heben die Kultur und machen recht eigentlich den Menschen zum Herrscher über den Raum.

Und welcher Art sind dabei die Wege, die das Dampfroß wählt! Bald durcheilt es in schnellem Fluge die sonnendurchglänzten Fluren des Flachlandes, bald klettert es schwer beladen an den Berglehnen entlang hoch in die Alpenwelt, in die Region der Lawinen hinauf, der Gebirge breiten Rücken in langem Tunnel durchziehend. Bald rasselt es über kühn geschwungene Viadukte und Brücken, tiefe Täler, Ströme und Schluchten überschreitend, oder es rollt auf langer Hochbahn über den Straßenverkehr unserer Großstädte hin. Es steigt hinab in der Erde Schoß und fährt unter Straßen, Kirchen, Häusern, Docks und Flüssen her, oder erklimmt endlich der Berge Gipfel, um der wanderlustigen Menschheit den mühelosen Anblick erhabenster Naturschönheit zu gewähren. Wahrlich, vielseitig ist sein Weg, sein Nutzen und Zweck!

Besonders nützlich haben die Eisenbahnen in unserem deutschen, vielstaatlichen Vaterlande gewirkt, denn sie durchbrachen zuerst die dichten Grenzzäune eines engherzigen Partikularismus, der vor wenigen Jahrzehnten noch in so vielen Ländchen üppig wucherte, und halfen ihn glücklich zu Falle zu bringen. Sie haben alte Vorurteile verschwinden lassen, die deutschen Stämme wirksam einander näher gebracht und den Wunsch nach politischer Einheit dadurch lebendiger gestaltet. Goethe sagt schon in seinen Gesprächen mit Eckermann 1828, also noch zu einer Zeit, wo

36 verschiedenfarbige Grenzpfähle das deutsche Land in eben so viele Gegensätze zerlegten: „Mir ist nicht bange, daß Deutschland nicht eins werde, unsere guten Chausseen und künftigen Eisenbahnen werden schon das ihrige tun.“ Nun, sie haben das ihrige in der Vorbereitung zur Einigung getan, deren Verwirklichung freilich nur durch das unvergleichliche Walten Bismarcks und durch die glänzenden Erfolge der preußischen Heere auf den dänischen und böhmischen, später der deutschen Heere auf den französischen Schlachtfeldern ermöglicht werden konnte.

Diese Einigung des deutschen Volkes war sodann rückwirkend wiederum fruchtbar für dessen gesamte gewerblichen Verhältnisse, insbesondere auch für das Eisenbahnwesen. Dieses erhielt teils infolge ungeahnter Verkehrssteigerung, teils auch aus strategischen Gründen eine erhebliche Ausdehnung, begleitet von zahlreichen Verbesserungen seiner Einrichtungen und Anlagen. Infolge des gewaltigen Aufschwunges auf allen Gebieten seines Handels und Gewerbelebens und dank dem vielmaschigen, gut betriebenen Eisenbahnnetze konnte Deutschland, reich an wissenschaftlich auf unseren technischen Hochschulen ausgebildeten Ingenieuren und technischen Chemikern, auf dem Weltmarkte bald in Wettbewerb treten mit den älteren Industrievölkern, vor allem mit England, dem Vaterlande der Dampfmaschinen und der Eisenbahnen. Vor 5 bis 6 Jahrzehnten noch ein vorzugsweise ackerbautreibendes Volk, entsendet es heute seine gewerblichen Erzeugnisse, vor allem die der Chemie, Weberei und des Maschinenbaues, nach fünf Weltteilen. Die schnellsten Dampfschiffe, die jetzt die Meere unseres Erdballes durchfurchen, sind aus deutschem Material und auf deutschen Werften erbaut. Die deutschen Eisenbahnen gehören, was Sicherheit des Betriebes, Pünktlichkeit der Züge und Bequemlichkeiten für die Reisenden aller Gesellschaftsklassen anlangt, unbestritten zu den besten der Welt und haben das Urteil keines anderen Eisenbahnlandes zu scheuen. Deutschlands Zukunft beruht, außer auf seiner Schlagfertigkeit zu Lande und zu Wasser, zum wesentlichen Teil auf der weiteren Entwickelung seiner Industrie und vor allem seiner Technik. Beide werden allgemein im 20. Jahrhundert noch weit mehr als im vergangenen der Maßstab für die Größe eines Volkes sein.

Wer ist nun der eigentliche Schöpfer der Eisenbahnen, wer hat sie erfunden? Nach Goethes treffendem Ausspruch ist Erfinden der Abschluß des Gesuchten. Die meisten wichtigen Erfindungen sind nicht urplötzlich spruchreif entstanden, sondern haben sich, auf vorangegangenen Bestrebungen ähnlicher Art nach und nach aufbauend, im Laufe der Zeit ausgereift, bis sie endlich durch einen genialen Kopf zu einem zeitweisen Abschluß gebracht wurden. So ist vor allem die Lokomotive, die Seele des Eisenbahnwesens, durch den unermüdlichen Erfindungssinn einer ganzen Anzahl von denkenden Ingenieuren aus den bescheidensten Anfangsformen heraus zu ihrer heutigen hohen Durchbildung geführt worden (vergl. Abschnitt „Lokomotiven“). Eine Schar von Ingenieuren aller Länder hat sich bemüht, Verbesserungen und Abänderungen der Lokomotive und ihrer Einzelteile anzustreben, sie den verschiedensten Betriebsverhältnissen anzupassen und namentlich auch ihre Leistungsfähigkeit unter Wahrung des wirtschaftlichen Gesichtspunktes zu heben.

Hand in Hand damit ging gleichzeitig auch die Ausbildung der Fahrbahn vor sich. Auch sie hat von den ersten eisenbelegten Holzbahnen an bis zu den heutigen schweren Oberbau-Anordnungen eine lange, vielgestaltige Entwickelungsreihe zu verzeichnen. Lokomotivrad und Gleis stehen in innigster Wechselbeziehung zu einander (vergl. Abschnitt „Oberbau“). Als „Dritter im Bunde“ gesellte sich dann schließlich die Tele-

graphie hinzu, um als unübertroffene, schnellfüßige Dienerin die Zeichengabe auszuüben, durch die dem rasch dahinsausenden Dampfroß der Weg frei gehalten wird.

Auch die Linienführung dieses Weges hat ihre eigene Geschichte. Man vergleiche nur den geradlinigen oder höchstens hier und da schwach gekrümmten Lauf der ersten englischen oder deutschen Eisenbahnen mit dem an Schleifen und Schlingen reichen Zuge der strategischen Schwarzwaldbahn, oder der Gotthard-, Callao-Oroya-, Darjeeling- und Albula-Bahn (s. Abb. 25—39).

Nur schüchtern verstand man sich im zweiten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts auf einzelnen kurzen englischen Kohlenbahnen dazu, die Kohlenzüge durch die derzeit aufkommenden Dampflokomotiven ziehen zu lassen. Auf der im Herbst 1825 eröffneten Stockton-Darlington Bahn, der ersten, dem öffentlichen Verkehr dienenden Lokomotiv-Eisenbahn der Welt, wurden nur die Güterzüge durch Lokomotiven befördert, die Personenwagen dagegen durch die schneller sich bewegenden Pferde. Erst nachdem G. Stephenson in dem denkwürdigen Wettstreit der Lokomotiven — the battle of locomotives — auf der Ebene von Rainhill am 6. Oktober 1829 seine schnellaufende Lokomotive (the Rocket) vorgeführt hatte, wurde die Personenbeförderung durch Dampfkraft ermöglicht und gesichert. Die ersten Personenzüge wurden am 15. September 1830, dem Eröffnungstage der Liverpool-Manchester Bahn, gefahren. Staunend vernahm die Welt die Leistungen der Dampfbahn. Von da an hielt die letztere — anfangs langsam, später immer schneller und ausgedehnter — ihren Siegeszug durch alle zivilisierten Länder, um heute ihrerseits die Errungenschaften moderner Kultur auch durch die dunkelsten Länder zu tragen. Rußland hat die große, die asiatischen Steppen durchquerende transsibirische Bahn nach Port Arthur und Wladiwostok vollendet, wodurch ein ununterbrochener Schienenweg von der Westküste Europas bis zur Ostküste Asiens geschaffen ist. Deutsche, Engländer, Belgier und Franzosen senden vom Stillen Ozean aus die Eisenspur nach dem Inneren Chinas, um der heimischen Industrie die notwendigen neuen Absatzgebiete zu verschaffen. In Afrika herrscht nicht minder ein wahres Wettlaufen im Eisenbahnbau. Von der West- nach der Ostküste und umgekehrt planen und bauen die Völker für das Dampfroß den Weg, der sich auch bereits vom Norden her tief in den Sudan und vom Fuß des Tafelbergs bis hoch nach Betschuanaland hinein erstreckt. Die Bahn „vom Kap bis Kairo“ wird bald kein Traum mehr sein.

I. Ausbreitung der Bahnen in den einzelnen Ländern.

Zehn Jahre nach den unvergleichlichen Erfolgen der Liverpool-Manchesterlinie gab es in England etwa 3000 km Bahnen, und gegen Mitte der vierziger Jahre brach dort ein wahres Eisenbahnfieber aus, das in schneller Folge zahlreiche Bahnen erstehen ließ. Auch in Nordamerika erkannte man nach Überwindung der ersten Vorurteile frühzeitig die Bedeutung des neuen Verkehrsmittels und eröffnete 1830 die erste Bahn*), deren zwei Lokomotiven allerdings noch aus England bezogen waren. Seit 1832 erstand daselbst auch ein eigener, bald völlig selbständig vorgehender

*) Kohlenbahn Tamaqua-Port Clinton in Pennsylvanien. Diese 34 km lange Linie wurde auf Betreiben von Fr. List (vergl. S. 7) gebaut, der zu dem Zweck im Jahre 1827 eine Aktiengesellschaft mit einem Kapital von $^1/_2$ Million Dollar gründete. Der wirtschaftliche Erfolg dieser Bahn ließ in ihm den Plan zu einem deutschen Eisenbahnnetz reifen. „Mitten in den Wildnissen der Blauen Berge träumte mir von einem deutschen Eisenbahnsystem“ schreibt er im Jahre 1828.

Lokomotivbau, und 1835 waren dort über 1700 km Lokomotivbahnen im Betriebe. Auf dem europäischen Festlande hatten die Fürsprecher der Eisenbahnen anfangs schweren Stand und auch mit Vorurteilen und schiefen Ansichten aller Art zu kämpfen. Wohl waren hier schon seit der Niederwerfung Napoleons I. einsichtsvolle Männer bemüht, die Vorteile der Schienenwege ihren Landsleuten klar zu legen und Stimmung für ihre Einführung zu machen. So trat nämlich seit 1813 in Österreich ein weitblickender Ingenieur, Ritter Franz v. Gerstner, Direktor des Polytechnischen Instituts zu Prag, durch Wort und Schrift für diese nach seinem Vorschlage allerdings noch mit Pferden zu betreibenden Kunststraßen ein und wies ihre Überlegenheit gegenüber den gewöhnlichen Landstraßen nach. Jedoch erst ein Jahrzehnt später (27. September 1824) gelang es Gerstners Sohne Franz, Professor am Polytechnischen Institut in Wien, die landesherrliche Bauerlaubnis für die 129 km lange Linie von Linz nach Budweis zu erhalten und daraufhin die nötigen Gelder zusammenzubringen. Im Jahre 1825 wurde die Bahn mit einer Spurweite von 110 cm in Angriff genommen und am

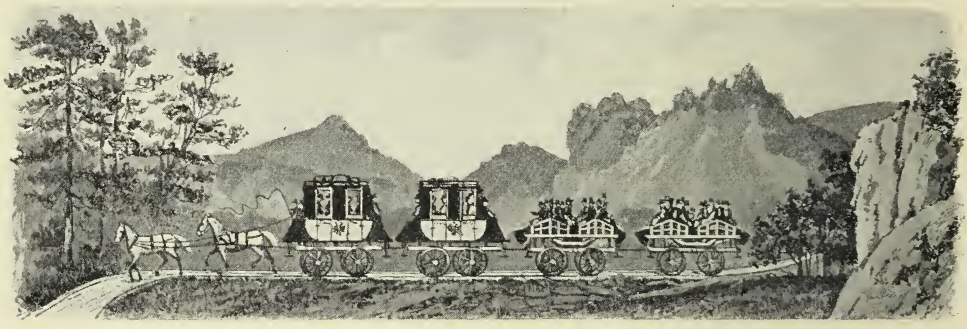


Abb. 1. Personentransport der Linz-Budweiser Eisenbahn 1828
(Nach einem Original von Mathias Schönerer.)

30. September 1828 ihr erster, $64^1/_2$ km langer Abschnitt Budweis-Kerschbaum eröffnet. Vier Jahre darauf war die ganze Strecke vollendet. Abb. 1 zeigt den Betrieb mit Personenwagen auf dieser denkwürdigen Schienenstraße, der ältesten Österreichs.*) In gleicher Bauart und für dieselbe Betriebsweise wurde 1828—31 die Linie Prag-Lana und 1832—36 Linz-Gmunden ausgeführt. Eigentümlich berührt uns heute die damalige Anschauung über die zweckmäßigste Bauart solcher Bahnen. Man getraute sich noch nicht, die Dämme als reine Erdschüttung herzustellen, sondern mauerte einen Steinkern auf und hüllte ihn dann mit Erde ein. Auf diese Weise vergeudete man freilich infolge mangelnder Erfahrung große Kapitalien und baute nicht nur unnötig teuer, sondern auch langsam.

Die erste Lokomotivbahn Österreichs erstand im Jahre 1837, hauptsächlich auf Betreiben des Wiener Professors (polytechn. Institut) Franz Rieple.

In Deutschland bemühten sich besonders zwei Oberbergräte um das Zustandekommen von Bahnen: v. Baader in Bayern und Henschel in Kassel. Ersterer schlug schon 1814 u. a. den Bau einer Bahn von Nürnberg nach Fürth vor, ohne aber Erfolg zu haben. Henschel, ein um die Entwickelung des deutschen Maschinenbaues hochverdienter, vielseitiger Mann und Begründer der Henschelschen Maschinenfabrik in Kassel, aus der später die bekannte Lokomotivfabrik hervorgegangen ist, trat namentlich seit den zwanziger Jahren für die Beförderung von Eisenbahnwagen

*) Geschichte der Eisenbahnen der österr.-ungarischen Monarchie, 4 Bd. 1897.

durch Seilzüge und Luftkompressoren ein. Sein damaliger Entwurf zu einer Drucklufteisenbahn kam wegen mangelnder Unterstützung nicht zur Ausführung. Etwa zur selbigen Zeit bemühte sich in Westfalen, damals schon ein Sitz aufblühender Industrie, Harkort lebhaft um den Bau von Schienenstraßen. Es glückte ihm, einige kurze Schmalspurbahnen für Kohlentransport ins Leben zu rufen. Im Jahre 1830 bildete sich auf sein Betreiben eine Aktiengesellschaft — die erste in Deutschland — um „mittels einer Eisenbahn den Absatz der Ruhrkohlen nach dem Wuppertale und ins Bergische zu vermitteln, bezw. die bergischen Fabriken wohlfeil mit Kohlen zu versehen". Sie baute eine Schmalspurbahn, die freilich erst 20 Jahre später in eine mit Dampflokomotiven betriebene Hauptbahn umgewandelt wurde. Alle diese damaligen kleinen Kohlenbahnen im Ruhr- und Saargebiet, deren Gesamtlänge etwa 60 km betrug, waren nur für Pferdebetrieb bestimmt.

Um 1830 trat auch der hervorragendste und unermüdlichste deutsche Vorkämpfer in dieser Frage auf, Friedrich List. Er veröffentlichte in Leipzig im Jahre 1833 den Plan zu einem einheitlichen deutschen Eisenbahnnetze*), wonach alle größeren Städte unseres Vaterlandes durch den Schienenweg miteinander verbunden werden sollten. Doch Partikularismus, Kurzsichtigkeit und mangelnder Unternehmungsgeist traten dem klaren Blickes weit vorausschauenden Manne entgegen. Sein großzügig angelegter Plan blieb damals ohne Unterstützung, um — abgesehen von der Leipzig-Dresdener Bahn — erst nach einer Reihe von Jahren stückweise verwirklicht zu werden.

Deutschlands erste Lokomotivbahn. Einsichtigen Bürgern Nürnbergs, an deren Spitze der unermüdliche J. Scharrer stand, gelang es um 1834, eine Gesellschaft für den Bau einer Bahn zwischen Nürnberg und Fürth zu gründen und trotz mancherlei Schwierigkeiten**) die Bauerlaubnis zu erhalten. Doch wie den Bahnbau ausführen? Man schrieb an R. Stephenson, den Leiter der von seinem Vater in Newcastle-on-Tyne gegründeten Maschinenfabrik (vergl. Abschnitt „Lokomotiven"), um Überlassung eines erfahrenen Ingenieurs. Ein solcher verlangte aber außer den Reisekosten 12000 Mark Gehalt, etwas für die damaligen bayrischen Verhältnisse ganz unerhörtes. Zudem forderte er noch 4000 Mark Gehalt für einen deutschen Begleiter, der ihm als Dolmetsch dienen sollte. Da lernte Scharrer***), in München den Regierungs-Ingenieur Denis kennen, der kurz zuvor in Amerika und England den Eisenbahnbau eingehend besichtigt

*) Vergl. 1) die höchst bemerkenswerte, „einen Denkstein in der Geschichte des deutschen Verkehrswesens" bildende Schrift: „Über ein sächsisches Eisenbahnsystem als Grundlage eines allgemeinen deutschen Eisenbahnsystems und insbesondere über die Anlegung einer Eisenbahn von Leipzig nach Dresden" von Fr. List. Mit einem Plane eines Eisenbahnnetzes. (Reclams Universal-Bibliothek Nr. 3669.) — 2) Niedermüller, „Die Leipzig-Dresdener Eisenbahn, ein Werk Friedrich Lists." Leipzig 1880. — 3) Goldschmidt, „Friedrich List, Deutschlands großer Volkswirt." 1878.

**) Bezeichnend für den Geist damaliger Zeit ist das „wissenschaftlich begründete" Gutachten, welches das bayrische Ober-Medizinal-Kollegium in dieser Sache abgab. Es äußerte sich dahin: „Die schnelle Bewegung muß bei den Reisenden unfehlbar eine Gehirnkrankheit, eine besondere Art des Delirium furiosum, erzeugen. Wollen aber dennoch Reisende dieser gräßlichen Gefahr trotzen, so muß der Staat wenigstens die Zuschauer schützen, denn sonst verfallen diese beim Anblicke des schnell dahinfahrenden Dampfwagens genau derselben Gehirnkrankheit. Es ist daher notwendig, die Bahnstrecke auf beiden Seiten mit einem hohen, dichten Bretterzaune einzufassen."

***) Vergl. Joh. Scharrer, „Deutschlands erste Eisenbahn mit Dampfkraft". Nürnberg 1836. Desgl. Hentzelmann, „Deutschlands erste Eisenbahn". Nürnberg 1835.

hatte. Dieser arbeitete anfangs 1835 den Bauplan aus, und die Eröffnung der Bahn erfolgte noch am 7. Dezember jenes Jahres. Deutschland erhielt damit seine erste Lokomotiv-Eisenbahn.*)

Die Betriebsausweise des jungen, neuartigen Unternehmens waren recht günstige. Die Eisenbahngesellschaft konnte schon nach einem Jahre 19% Dividende verteilen, ein gewiß glänzendes Ergebnis und auch eine Genugtuung nach dieser Seite hin für die Männer, die die Bahn ins Leben gerufen und unentwegt allen Schwierigkeiten getrotzt hatten.

Und dennoch währte es einige Jahre, ehe weitere Bahnen in Deutschland gebaut wurden. Heute sind wir gewohnt, von einer Erfindung, in welchem Erdteile sie auch gemacht wird, in kurzer Zeit Kenntnis zu erhalten. Telegraph und Eisenbahn bringen baldige Kunde in Wort und Bild. Damals fehlte beides noch in deutschen Landen, auch stand das Zeitungswesen auf einer wenig entwickelten Stufe: Erfindungen und Fortschritte konnten sich nur langsam verbreiten. Bei den Eisenbahnen kam dazu noch erschwerend das schon erwähnte Vorurteil, das nicht nur der großen Menge, sondern auch den führenden Persönlichkeiten den Blick verschleierte.**)

Nachstehend seien die Eröffnungszeiten der ersten, dem Personentransport dienenden europäischen Eisenbahnen mit Lokomotivbetrieb in zeitlicher Reihenfolge gegeben:

England:	Manchester-Liverpool	15. September 1830.
Frankreich:	Rive de Gier-Lyon***)	Juli 1832.
Belgien:	Brüssel-Mecheln	5. Mai 1835.
Bayern:	Nürnberg-Fürth	7. Dezember 1835.
Sachsen:	Leipzig-Althen†)	24. April 1837.
Österreich:	Wien-Wagram	6. Januar 1838.††)
Rußland:	St. Petersburg-Zarskoje Selo . . .	4. April 1838.

*) Die Lokomotive — „Adler" getauft — stammte samt ihrem Tender aus England, vgl. Abb. 196. Sie war aus der Fabrik von Stephenson & Co. zum Preise von 13930 Gulden = rund 23900 Mark (einschließlich des Transportes von Rotterdam nach Nürnberg) bezogen. Sie wog nur 6000 kg und leistete gegen 12 bis 15 Pferdestärken. Heutigestags erhält man für diesen Preis eine mindestens zwölfmal so starke Lokomotive. Auch der Führer des „Adlers" war aus England. Er erhielt 1500 Gulden Gehalt und war somit der bestbezahlte Beamte, denn der erste Direktor empfing nur 1200 Gulden. Bemerkenswert ist dabei noch, daß die Schienen auf einem deutschen Walzwerke hergestellt waren. Der im ersten Betriebsjahre auf der Lokomotive verfeuerte, aus Saarbrücken bezogene Koks kostete 6 Mark der Zentner. Später wurden böhmische Steinkohlen verbrannt, die sich etwa halb so teuer stellten. Die gesamten Baukosten der 6,04 km langen, fast wagerechten und bis auf zwei Endbögen genau geradlinigen Bahn betrugen einschließlich Betriebsmittel und aller sonstigen Zubehörteile 175469 Gulden, also rund 300000 Mark. Das ist nicht viel, freilich erhielten die bei diesem Bahnbaue beschäftigten Arbeiter auch nur etwa 40 Pfennige Tagelohn, und die Baustoffe — außer Schienen und Lokomotive — konnten wohlfeil beschafft werden.

Die Personenzüge wurden in der ersten Betriebszeit teils durch Dampfkraft, teils durch Pferde befördert. Ihre Benutzung war eine sehr starke und belief sich durchschnittlich auf 1200 Reisende für den Tag. Die erstere Beförderungsart zeigte sich nach Jahresfrist als die billigere. Güterverkehr wurde erst 1838 eingerichtet, der elektrische Telegraph 1867.

**) Vergl. näheres hierüber bei Marggraff, „Der Sammler", 1885; desgleichen Fr. List, „Eisenbahn-Journale", 1836.

***) Die 21 km lange Anschlußstrecke St. Etienne-Rive de Gier wurde am 1. April 1833 eröffnet. Vgl. Audiganne, Les chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans, 1858 Bd. I, S. 129.

†) Teilstrecke der Leipzig-Dresdener Bahn. Die ganze Linie wurde am 7. April 1839 eröffnet.

††) Am 19. November 1837 fand die erste Probefahrt unter Zulassung eingeladener Personen auf der Strecke Floridsdorf-Wagram statt; die Donaubrücken (hölzerne Jochbrücken) zwischen Wien und Floridsdorf waren noch nicht fertiggestellt.

Preußen:	Berlin-Zehlendorf*)	1. September 1838.
Braunschweig:	Braunschweig-Wolfenbüttel (erste deutsche Staatsbahn)	1. Dezember 1838.
Holland:	Amsterdam-Haarlem	20. September 1839.
Italien:	Neapel-Portici	4. Oktober 1839.
Baden:	Mannheim-Heidelberg**)	12. September 1840.
Hannover:	Hannover-Lehrte***)	22. Oktober 1843.
Württemberg:	Cannstatt-Untertürkheim	Oktober 1845.
Ungarn:	Pest-Waitzen	15. Juli 1846.
Serbien:	Belgrad-Nisch	15. September 1884.

Alle diese Linien waren verhältnismäßig kurz. Berlin wurde 1843 mit Stettin, 1846 mit Hamburg, Breslau und Magdeburg verbunden und zwei Jahre später mit Köln und Dresden. Nach 1850 kam der Bahnbau in schnelleren Fluß, und nachdem die neueren Kriege beider Welten die hervorragende Bedeutung der Eisenbahnen für die Kriegführung hatte erkennen lassen, nahm das Eisenbahnwesen gewaltigen Aufschwung. Am Ende des Jahres 1865 gab es 145485 km Bahnen auf der Erde. Heute ist unser Planet mit einem sechsmal so großen Eisenbahnnetze überzogen. Betrug doch zu Anfang des Jahres 1905 die Gesamtlänge aller im Betriebe befindlichen Lokomotivbahnen 886313 km, d. i. nahezu das $2^1/_3$fache der mittleren Entfernung des Mondes von der Erde (384420 km). Der Äquator, dessen Umfang 40070 km mißt, kann mit dieser Länge 22mal umgürtet werden.

Nach dem aus amtlichen Quellen schöpfenden „Archiv für Eisenbahnwesen“ verteilt sich diese Eisenbahnlänge nach folgenden Übersichten, die zugleich auch die Ausbreitung des Netzes seit 1836 erkennen lassen.

Länge in km der im Betriebe befindlichen Eisenbahnen.

Erdteil	Am Anfange des Jahres							
	1836	1846	1856	1866	1876	1886	1896	1905
Europa	673	8235	34185	75882	142494	195833	251421	305407
Amerika . . .	1758	7683	32417	62534	134098	249246	370321	450574
Asien	—	—	350	5489	11332	22285	43375	77206
Afrika	—	—	144	755	2576	7032	13147	26074
Australien . . .	—	—	38	825	3738	12947	22349	27052
Zusammen	2431	15918	67134	145485	294238	487343	700613	886313

In bezug auf Gesamtlänge nimmt sonach Amerika die erste, Afrika die letzte Stelle ein. Ersteres Land besitzt mehr als die Hälfte aller Eisenbahnen.

Das Bild ändert sich aber, sobald die Flächenausdehnung der einzelnen Erdteile zugrunde gelegt wird. Europa tritt dann an die Spitze der Länder, was bei seiner höheren Kulturstufe auch ganz natürlich ist. Seine Bahnen, insbesondere die von Deutschland, England, Frankreich und Belgien, übertreffen aber im allgemeinen diejenigen der anderen Erdteile nicht nur durch das enger gewebte Gleisnetz, sondern auch durch sorgfältigere Ausführung und durch höhere Leistungsfähigkeit, hervorgerufen durch

*) Teilstrecke der Berlin-Potsdamer (Magdeburger) Eisenbahn.

**) Die Spurweite betrug anfangs 1600 mm, sie wurde im Jahre 1854/55 auf die 1435 mm Spur umgebaut.

***) Teilstrecke der Bahn von Hannover nach Braunschweig. 1847 wurde die Strecke Lehrte-Harburg eröffnet, aber lange Zeit ohne Anschluß an — Hamburg gelassen, auch ein Zeichen des damaligen Sondergeistes in deutschen Landen, der sich besonders kleinlich in der hannoverschen Eisenbahnpolitik gegenüber Preußen und Oldenburg offenbarte. Vergl. näheres hierüber im „Archiv für Eisenbahnwesen“ 1879/80, S. 232.

reicheren Ausbau der Linien mit zwei, drei und selbst vier Gleisen, sowie durch reichere Ausstattung mit Fahrzeugen; ferner durch bessere Sicherheitsvorrichtungen. Nur im Osten der Vereinigten Staaten zeigt Amerika eine gleich hohe Entwickelung des Eisenbahnwesens, das sogar in jüngster Zeit vorbildlich für manche Neuerungen auf europäischen Bahnen gewesen ist.

Nachstehende Übersicht veranschaulicht für sämtliche Eisenbahnländer der einzelnen Erdteile die Verteilung des Bahnnetzes, und zwar bezogen einmal auf je 100 qkm Bodenfläche und sodann auch auf je 10000 Einwohner.

Übersicht des Eisenbahnnetzes der Erde

zu Anfang des Jahres 1905 und das Verhältnis der Eisenbahnlänge zur Flächengröße und Bevölkerungszahl der einzelnen Länder.

Länder			Betriebslänge d. Eisenbahnen		
Name	Flächengröße qkm	Bevölkerungszahl	insgesamt km	auf je 100 qkm	auf je 10000 Einwohner
I. Europa.					
Deutschland	540 700	56 367 000	55 564	10,3	9,9
Österreich-Ungarn	676 500	47 118 000	39 168	5,8	8,3
England	314 000	41 450 000	36 297	11,7	8,8
Frankreich	536 400	38 962 000	45 773	8,5	11,7
Rußland (europäisches)	5 390 000	105 542 000	54 708	0,9	4,7
Italien	286 600	32 475 000	16 117	5,6	5,0
Belgien	29 500	6 694 000	7 041	23,9	10,2
Holland und Luxemburg	35 600	5 341 000	3 433	9,6	6,4
Schweiz	41 400	3 325 000	4 249	10,2	12,7
Spanien	496 900	17 961 000	14 134	2,8	7,9
Portugal	92 600	5 429 000	2 494	2,7	4,6
Dänemark	38 500	2 449 000	3 288	8,5	13,4
Norwegen	322 300	2 221 000	2 439	0,8	10,9
Schweden	447 900	5 136 000	12 577	2,8	24,5
Serbien	48 300	2 494 000	578	1,2	2,3
Rumänien	131 300	5 913 000	3 177	2,4	5,4
Griechenland	64 700	2 434 000	1 118	1,7	4,6
Türkei, Bulgarien, Rumänien	267 000	9 824 000	3 142	1,2	3,2
Malta, Jersey, Man	1 100	372 000	110	10,0	3,0
Zusammen	9 761 300	391 507 000	305 407	3,0	7,6
Deutsche Bundesstaaten.					
Preußen	348 600	34 473 000	33 510	9,6	9,7
Bayern	75 900	6 176 000	7 409	9,8	12,0
Sachsen	15 000	4 202 000	2 973	19,8	7,1
Württemberg	19 500	2 169 000	1 984	10,2	9,1
Baden	15 100	1 868 000	2 104	13,9	11,3
Elsaß-Lothringen	14 500	1 719 000	1 969	13,6	11,5
Übrige deutsche Staaten	52 100	5 760 000	5 615	10,8	9,7
Deutschland zusammen	540 700	56 367 000	55 564	10,3	9,9
II. Amerika.					
Verein. Staaten von Amerika	7 752 800	78 595 000	344 172	4,4	43,8
Kanada	8 768 000	5 339 000	31 554	0,4	59,1
Neufundland	110 800	214 000	1 058	0,9	49,4
Mexiko	2 016 000	14 545 000	19 437	1,0	13,4
Mittelamerika*)	—	—	1 615	—	—
Verein. Staaten v. Columbien	1 330 800	4 500 000	661	0,05	1,5
Antillen**)	—	—	4 040	—	—

*) Guatemala 644 km, Honduras 92 km, Salvador 156 km, Nicaragua 250 km und Costarica 473 km.

**) Große Antillen: Cuba 2548 km, Dominikanische Republik 188 km, Haiti 225 km, Jamaika 298 km, Portorico 222 km. Kleine Antillen: Martinique 224 km, Barbados 93 km, Trinidad 142 km.

Länder			Betriebslänge d. Eisenbahnen		
Name	Flächengröße qkm	Bevölkerungszahl	insgesamt km	auf je 100 km	auf je 10000 Einwohner
Amerika (Fortsetzung).					
Venezuela	1 043 900	2 445 000	1 020	0,1	4,2
Brasilien	8 361 400	14 934 000	16 747	0,2	11,2
Argentinien	2 885 600	4 894 000	19 971	0,7	40,8
Paraguay	253 100	636 000	253	0,1	4,0
Uruguay	178 700	931 000	1 948	1,1	20,9
Chile	776 000	3 314 000	4 643	0.6	14,0
Peru	1 137 000	4 607 000	1 844	0,2	4,0
Bolivia	1 334 200	2 269 000	1 129	0,1	5,0
Ecuador	299 600	1 400 000	300	0,1	2,1
Britisch Guyana	229 600	295 000	122	0,05	4,1
Niederländ. Guyana	—	—	60	—	—
Zusammen	—	—	450 574	—	—
III. Asien.					
Britisch Indien	5 068 300	294 905 000	44 352	0,9	1,5
Ceylon	63 900	3 687 000	630	1,0	1,7
Kleinasien u. Syrien m. Cypern (58 km)	1 778 200	19 568 000	3 464	0,2	1,8
Russisches mittelasiat. Gebiet	554 900	7 740 000	2 669	0,5	3,1
Sibirien und Mandschurei	12 518 500	5 773 000	9 116	0,07	15,8
Persien	1 645 000	9 000 000	54	0,003	0,06
Niederländisch Indien	599 000	29 577 000	2 302	0,4	0,8
Japan	417 400	46 542 000	7 481	1,8	1,6
Portugiesisch Indien	3 700	572 000	82	2,2	1,4
Malaiische Staaten (Borneo, Celebes usw.)	86 200	719 000	719	0,8	10,0
China	11 081 000	357 250 000	1 976	0,02	0,06
Korea	218 000	9 670 000	862	0,4	0,9
Siam	633 000	9 000 000	718	0,1	0,8
Cochinchina, Kambodscha, Anam, Tonkin (2398 km), Pondichery (95), Malakka (92), Philippinen (196 km)	—	—	2 781	—	—
Zusammen	—	—	77 206	—	—
IV. Afrika.					
Ägypten	994 300	9 833 000	5 204	0,5	5,3
Algier und Tunis	897 400	6 695 000	4 894	0,5	7,3
Congo-Staat	—	—	478	—	—
Abessinien	—	—	376	—	—
Kapkolonie	786 800	1 766 000	5 650	0,7	32,0
Natal	70 900	778 000	1 185	1,7	15,2
Transvaal	308 600	867 900	2 148	0,7	24,7
Oranje-Kolonie	131 100	208 000	960	0,7	46,1
Kolonien:					
Deutschl. (Deutsch-Ostafrika 130 km, Deutsch-Südwestafrika 713 km), Togo (45 km)	—	—	888	—	—
England (Britisch-Ostafrika 936 km, Sierra Leona 363, Goldküste 270, Lagos 204, Mauritius 188 km)	—	—	1 961	—	—
Frankreich (Französ.-Sudan 843 km, Französ.-Somaliküste 160, Madagaskar 132, Réunion 127 km)	—	—	1 262	—	—
Italien (Eritrea 76 km)	—	—	76	—	—
Portugal (Angola 543 km, Mozambique 449 km)	—	—	992	—	—
Zusammen	—	—	26 074	—	—

Länder			Betriebslänge d. Eisenbahnen		
Name	Flächengröße qkm	Bevölkerungszahl	insgesamt km	auf je 100 km	auf je 10000 Einwohner
V. Australien.					
Neuseeland	271 000	830 000	3 928	1,4	47,3
Viktoria	229 000	1 201 000	5 444	2,4	45,3
Neu-Südwales	799 100	1 370 000	5 279	0,7	38,5
Süd-Australien	2 341 600	363 000	3 059	0,1	84,3
Queensland	1 731 400	485 000	4 711	0,3	97,1
Tasmanien	67 900	172 000	998	1,5	58,0
West-Australien	2 527 300	412 000	3 491	0,1	84,7
Hawai (40 km) mit den Inseln Maui (11 km) und Oahu (91 km)	17 700	109 000	142	0,8	13,0
Zusammen	7 985 000	4 942 000	27 052	0,3	54,7

Das industriereiche Belgien mit seinem blühenden Handel und Verkehr steht obenan. Auf je 100 qkm seiner Fläche weist es 23,9 km Eisenbahnen auf. Ihm kommt Sachsen mit 19,8 km Bahnlänge nahe, während England unter dem Einflusse des zurückgebliebenen Irlands es auf 11,7 km, Deutschland auf 10,3 km usw. bringt. Im Gegensatze hierzu steht Österreich-Ungarn mit nur 5,8 km, Rußland gar mit 0,9 km auf je 100 qkm seiner Bodenausdehnung. Die Länder der anderen Erdteile zeigen sämtlich verhältnismäßig sehr niedrige Werte. Selbst in den Deutschland an Größe vierzehnmal übertreffenden Vereinigten Staaten von Nordamerika finden wir nur 4,4 km.

Die Zahl der Bahnkilometer, die auf die Flächeneinheit entfallen, liefert nun aber für sich allein noch kein richtiges Bild, es muß auch die Bevölkerungszahl in Betracht gezogen werden. Nach dieser Richtung hin gibt die obige Übersicht und zwar in ihrer letzten Reihe bemerkenswerten Aufschluß. So zeigt Queensland 97,1 km Eisenbahnen auf je 10000 seiner Einwohner, die Vereinigten Staaten von Nordamerika 43,8 km, Deutschland 9,9 km usw. Je dünner das Land bevölkert ist, desto größer erscheint die Eisenbahnlänge, desto mehr also ist im Verhältnisse zur Bevölkerungszahl die Schienenstraße hier schon entwickelt, desto weniger allerdings das Land in seiner wirtschaftlichen Allgemeinheit. Wie schnell das Wachstum der Eisenbahnen in einem Lande letzterer Art in unserer Zeit vor sich gehen kann, zeigt besonders Australien. Während das Bahnnetz Europas in den Jahren 1875 bis 1904 — bezogen auf je 10000 Einwohner — sich nur um 77% vergrößerte, war dies in den australischen Kolonien um 782% der Fall, wie folgende Zusammenstellung besagt. Auf je 10000 Einwohner entfielen km Eisenbahnen:

	1875	1885	1905	Zunahme seit 1875
Europa	4,3 km	5,8 km	7,6 km	76,7%
Australien	6,2 „	29,5 „	54,7 „	782,3%

Einen sehr zuverlässigen Maßstab sowohl für die Dichtigkeit des Verkehrs und das Blühen der Gewerbe als auch für die Leistungsfähigkeit der Eisenbahnen bietet die Zahl der Betriebsmittel, mit denen die letzteren ausgerüstet sind. Je mehr Handel und Gewerbe blühen, desto reger ist der Güteraustausch, desto lebhafter der Personenverkehr, und um so leistungsfähiger müssen die Eisenbahnen sein, um so mehr Betriebsmittel müssen in Benutzung stehen. Auch hierin sind die europäischen Bahnen den übrigen weit überlegen, wie die folgende Übersicht in abgerundeten Zahlen zeigt.

Land	Betriebslänge km	Zahl der Lokomotiven am 1. 1. 1905 insgesamt	Zahl der Lokomotiven am 1. 1. 1905 auf je 10 km Betriebslänge
Europa	305 407	93 500	3,06
Vereinigte Staaten von Nordamerika	344 172	45 500	1,33
Übrige Länder	236 734	29 000	1,23
Zusammen auf der Erde	886 313	168 000	1,91

Die Vereinigten Staaten von Nordamerika, deren Bodenfläche = $^8/_{10}$ und deren Einwohnerzahl = $^2/_{10}$ derjenigen von Europa ausmacht, haben zwar eine größere Eisenbahnlänge als letzterer Erdteil, aber kaum die Hälfte der Anzahl Lokomotiven. Im Vergleich zu Deutschland, das bei 55564 km Betriebslänge rund 22000 Lokomotiven aufweist, haben sie ein sechsmal größeres Eisenbahnnetz, jedoch wenig mehr als die doppelte Anzahl der Lokomotiven; sie sind also nur $^1/_3$ so stark mit solchen ausgerüstet wie die deutschen Bahnen.

Besonderes Interesse verdienen die diesbezüglichen Vergleichszahlen der einzelnen europäischen Länder, sowie namentlich die der deutschen Bundesstaaten. Nachstehende Zusammenstellung enthält diese Angaben*).

Vergleichende Übersicht der Betriebsmittel,

mit denen am Anfang des Jahres 1902 die Eisenbahnen für je 10 km Betriebslänge durchschnittlich ausgerüstet waren.

Länder Europas.

Land	Lokomotiven	Personenwagen	Güter- und Gepäckwagen
Deutschland	3,93	7,97	83,28
Frankreich	2,65	6,95	69,80
England	6,11	13,75	206,95**)
Belgien { Staatsbahnen	7,40	15,40	166,10
Belgien { Privatbahnen	5,10	7,60	120,70
Rußland	2,40	2,67***)	55,43
Österreich-Ungarn	2,33	4,76	52,27
Dänemark	2,88	6,87	38,27
Schweden { Staatsbahnen	1,64	2,63	39,45
Schweden { Privatbahnen	1,06	2,09	26,02
Italien	2.03	5,51	38,67
Länder Deutschlands.†)			
Preußen	4,21	7,93	94,15
Bayern	3,09	8,04	46,23
Sachsen	4,92	11,44	96,98
Württemberg	3,48	6,68	48,77
Baden	4,32	10,76	77,58
Mecklenburg-Schwerin	1,51	3,48	27,32
Oldenburg	2,40	3,98	27,02

*) Berechnet auf Grund der „Statistischen Nachrichten von den Eisenbahnen des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen", Berlin 1903, sowie der Angaben im „Archiv für Eisenbahnwesen".

**) Das Ladegewicht der englischen Güterwagen ist im allgemeinen geringer (8—10 t) als das der festländischen (10—15 t); ihre durchschnittliche Nutzlast im Stückgüterverkehr war bis vor kurzem nach Angabe nur etwa 3 t. Für den Kohlenversand benutzen zahlreiche Zechen und Händler eigene Wagen von 8 t Last. Neuerdings gelangen auch größere Wagen (15—20 t) zur Einführung.

***) In den 15132 russischen Personenwagen sind auch 95 kaiserliche und 400 Arrestantenwagen enthalten.

†) Die Angaben beziehen sich auf Staatsbahnen mit 1435 mm Spurweite.

Man stelle hieraus wieder einmal die Zahlen der deutschen, englischen oder belgischen Bahnen denen von Österreich-Ungarn, Rußland oder Schweden gegenüber. Welche Unterschiede treten da in der Stärke der verschiedenen Fuhrparke auf! Daß ein Land mit verhältnismäßig geringer Zahl an Lokomotiven und Wagen auch in Kriegszeiten einem Staate mit starker Bahnausrüstung nachsteht, vollends gar, wenn die Maschen seines Gleisnetzes recht weite sind, bedarf wohl kaum der Erwähnung. Das Zusammenziehen der Truppen, das Befördern an die bedrohte Grenze, der Nachschub aus dem Inneren usw., alles das vollzieht sich bei ihnen weit langsamer, als in einem Lande mit leistungsfähigen Bahnen. Man vergleiche nur in obiger Zusammenstellung Rußland und Frankreich mit England oder Deutschland. Die einzelnen deutschen Bundesstaaten sind sehr ungleich bedacht. Während Preußen auf je 10 km seiner Linien durchschnittlich 4,21 Lokomotiven und 94,15 Güterwagen zählt, Sachsen noch höhere Werte aufweist, hat Bayern nur 3,09 Lokomotiven und 46,23 Güterwagen, Mecklenburg-Schwerin sogar noch erheblich weniger. Preußen hat demnach seine Bahnen 1,36mal so stark mit Lokomotiven und 2mal so stark mit Güterwagen besetzt wie Bayern. Und dabei tritt doch noch alljährlich in Preußen zur Zeit des stärksten Verkehrs, d. i. im Herbst während der Zuckerrüben- und Kartoffelernte sowie der vermehrten Kohlentransporte, desgleichen nach Zufrieren der Wasserstraßen Wagenmangel ein. Die Anforderungen an die Bahnverwaltungen sind in der Zeit auch ganz gewaltige. Wurden doch z. B. vom 16. bis 22. Januar 1906, also an sechs Arbeitstagen, allein im Ruhrbezirk von Rheinland-Westfalen 136 375 Wagen zu 10 t mit Kohlen, Koks und Briketts von den Zechen, Kokereien und Brikettwerken beladen und versandt. Es sind das durchschnittlich 22 729 Wagen, die Tag für Tag den Beladestellen zugeführt und sodann von diesen wieder abgefahren werden mußten. Die höchste Tagesleistung in der Wagengestellung entfiel hierbei auf den 20. Januar und betrug 23 478 Wagen.

Das Eisenbahnnetz der einzelnen Länder ist natürlich in den eigentlichen Industriegegenden am dichtesten gesponnen. Man vergleiche nur in Preußen die Eisenbahnkarte von Rheinland-Westfalen mit der von Ostpreußen oder Posen, die des Manchester-Liverpooler Gebietes mit Irland. Nachstehende Übersicht*) liefert ein eindrucksvolles Bild von der verschiedenen Verkehrsdichte in den einzelnen Bezirken ein und desselben Landes.

Durchschnittlicher Güterverkehr in Tonnen auf 1 km Bahnlänge.

Land	Jahr 1899	1901	1903
Deutschland	7 487	7 546	8 139
Ost- und Westpreußen	2 137	2 362	**2 237**
Oberschlesien (Reg.-Bez. Oppeln)	16 900	16 980	17 500
Saarbezirk	45 600	45 290	52 010
Ruhrbezirk { Rheinland	70 900	69 490	79 430
Ruhrbezirk { Westfalen	80 500	79 120	**91 030**
Bayern ohne Pfalz	—	2 756	2 842

Auf der verhältnismäßig kleinen Fläche des Ruhrreviers herrscht hiernach ein Güterverkehr, der sich mit dem englischer Industriegegenden messen kann. Er ist im westfälischen Bezirk im Jahre 1903 elfmal so stark gewesen wie in ganz Deutschland und 40mal so stark wie auf den Bahnen in Ost- und Westpreußen.

*) Archiv für Eisenbahnwesen 1903 u. 1904, S. 1142.

Entsprechend dieser ungleichen Verkehrsstärke in den einzelnen Landesteilen Preußens ist auch naturgemäß die Ausrüstung der Bahnlinien mit Betriebsmitteln in den Provinzen verschieden bemessen. Nach dieser richtet sich aber wiederum die Zahl und Größe der die Unterhaltung der Lokomotiven und Wagen bewirkenden Hauptwerkstätten.*)

Auffallend große Ungleichheiten in der Ausrüstung mit Betriebsmitteln zeigen auch die verschiedenen Bezirke der Vereinigten Staaten von Nordamerika. In nachstehender, nach amtlicher Quelle**) berechneter Übersicht sind die Landwirtschaft treibenden Weststaaten und die industriereichen

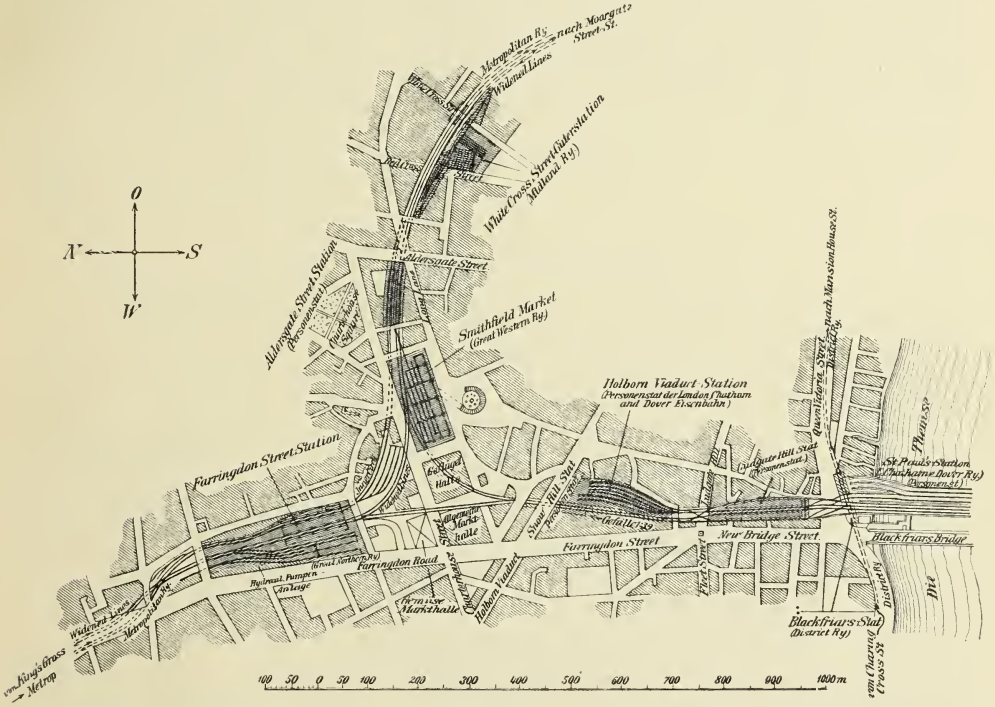


Abb. 2. **Lageplan der drei unterirdischen Güterstationen der City in London.*****)

Oststaaten einander gegenüber gestellt, und mit dem Gesamtnetz in Vergleich gebracht. Ihre Zahlen bestätigen nachdrücklichst das oben Gesagte.

Auf 10 km Betriebslänge entfallen i. J. 1903

Land	Lokomotiven	Personenwagen	Gepäck- und Güterwagen†)
Vereinigte Staaten insgesamt	1,33	0,86	48,78
Pacific Staaten††) (Westen)	0,68	0,50	19,36
Mittel Atlantic Staaten†††) (Osten)	3,46	2,51	135,0

Auch die großen Städte sind Sitze eines regen Eisenbahnverkehrs. Allen darin voran und in der Welt unerreicht steht London. Auf einer

*) Näheres hierüber vergleiche in des Verfassers Arbeit: „Die Eisenbahn-Hauptwerkstätten“ in „Eisenbahntechnik der Gegenwart“, 1898, Bd. I, S. 745.

**) Vgl. Glasers Annalen 1906, Bd. 58, S. 7.

***) L. Troske, „Die Londoner Untergrundbahnen“, 1892.

†) Das Lagewicht geht bis 50 t.

††) Washington, Oregon, Californien, Nevada, Idaho, Arizona, Utah, zusammen 26 900 km.

†††) New York, New Jersey, Pennsylvania, Delaware, Maryland, Columbia, zusammen 36 900 km.

Fläche von 316 qkm finden sich hier rund 470 Eisenbahnstationen, darunter allein mehr als 100 Güter- und Kohlenbahnhöfe. Namentlich im mittleren Stadtteile sind die Stationen eng gedrängt. Auf einer mit 9,6 km Halbmesser vom Londoner Hauptpostamt beschriebenen, 72 qkm großen Kreisfläche zählt man nicht weniger als rund 300 Stationen, also durchschnittlich 4,1 Stationen auf 1 qkm!

Berlin weist in seinem rund 60 qkm großen Weichbilde 70 Stationen und Güterbahnhöfe auf.

Paris enthält innerhalb seiner Umwallung, also auf 78 qkm, 53 Hauptbahn- und demnächst 158 Stadtbahn-Stationen. Letztere haben durchschnittlich nur 493 m Abstand voneinander. Sieht man von der kleinen, 3,7 km langen Budapester Unterpflasterbahn ab, so zeigt die Pariser Anlage die kleinste mittlere Stationsentfernung unter allen Stadtbahnen der

Abb. 3. Lageplan der Güterstationen der London und North Western Bahn im Gebiet des Liverpooler Hafens.

alten und neuen Welt. Kommen sodann bei ihr die geplanten Ergänzungslinien mit ihren rund 110 Stationen zur Ausführung, so erreicht Paris die Stationsdichte des Londoner Innenkerns (4,1 auf 1 qkm).*) Für die vorgenannten drei Städte ergibt sich sonach folgende bemerkenswerte Vergleichsübersicht:

Stadt	Größe der Grundfläche qkm	Zahl der Bahnhöfe insgesamt	Zahl der Bahnhöfe auf 1 qkm Grundfläche
Berlin	60	70	1,1
Paris	78	211	2,7
London	316	470	1,5
	72 (Kern)	300	4,1

Abb. 2 gibt einen der bemerkenswertesten Punkte des Londoner Gleisnetzes wieder. In engster Nachbarschaft sind hier — bald ober-, bald unterirdisch — sieben Personenstationen und drei Güterbahnhöfe — letz-

*) L. Troske, „Die Pariser Stadtbahn", 1905.

tere unterirdisch — zur Ausführung gebracht, um dem Massenverkehr im Herzen von London genügen zu können. Und wie stark sind alle diese Stationen, namentlich auch die drei für den Güterverkehr: White Croß, Smithfield Market und Farringdon Street belastet! Nicht minder lehrreich nach dieser Richtung ist Abb. 3. Sie zeigt uns nicht weniger als 7 Güterbahnhöfe im Hafen von Liverpool, die sämtlich der London und North Western Bahn gehören. Dazu kommen aber noch 5 Güterbahnhöfe der Lancashire and Yorkshire-Bahn, die zwischen jenen eingeschaltet liegen, also 12 derartige Anlagen auf eine Hafenlänge von rund 10 km! Abb. 3 zeigt auch, wie alle diese Einzelanlagen einer Verwaltung durch einen gemeinsamen Rangierbahnhof, z. B. durch Edge Hill auf der London and North Western Bahn, zusammengefaßt werden, damit hier die auf den strahlenförmig vorgeschobenen Ladestationen gefüllten Wagen — nach Angabe 2200 im Tagesdurchschnitt — zu Zügen für die verschiedenen Fahrrichtungen nach dem Innern des Landes zusammengestellt und umgekehrt die aus letzterem herankommenden Wagen auf die verschiedenen Docks und Anlegeplätze verteilt werden. —

II. Einteilung der Bahnen, Spurweite.

Das Riesennetz der Eisenbahnen zeigt in seinen einzelnen Maschen eine mannigfache Verschiedenheit und vielseitige Ausbildung. Den gewichtigsten Einfluß auf die äußere Gestaltung übt naturgemäß das Gelände aus. Eine Bahn durch die norddeutsche Tiefebene, ungarische Pußta oder die Savannen Argentiniens stellt sich einfacher in Anlage und Ausführung dar als eine solche im Hügellande, in den Alpen oder gar im Weichbilde der Großstädte. Demgemäß unterscheidet man:

I. Flachland-, Hügelland-, Gebirgs-, Berg- und Stadtbahnen (Hoch-, Tief- oder Unterpflasterbahnen).

In dieser Reihenfolge haben sich auch die Eisenbahnen im allgemeinen nacheinander entwickelt.

Bei den Flachlandbahnen sind Kunstbauten (Talbrücken, Tunnel, Stützmauern usw.) selten, die Halbmesser der Gleiskrümmungen groß, die Steigungen gering; bei den Gebirgsbahnen dagegen findet das Gegenteil statt. Hier muß die Linie oftmals sogar künstlich entwickelt werden (vgl. S. 44), um die Steigung nicht zu groß zu erhalten. Stadtbahnen bilden auf ihrer ganzen Länge eine fast ununterbrochene Reihe von Kunstbauten. Sind sie Hochbahn, so ruht das Gleis auf einem Steinviadukt (Berlin, Wien) oder wird von eisernen Säulen und Trägern gestützt (New York, Boston, Chicago, Liverpool, Berlin, Elberfeld (Schwebebahn) usw.). Sind sie Untergrundbahn, so bildet ihre Linie entweder einen einzigen Tunnel, sei es tief im Schoß der Erde (Röhrenbahnen in London, neue Untergrundbahn in New York), sei es dicht unter dem Steinpflaster (Budapest, Glasgow usw.), oder sie besteht aus einer Kette von Tunneln und Einschnitten (London, Glasgow), oder von Tunneln und Hochbahnstrecken (Berlin, Paris). Ist das von der Stadtbahn unterfahrene Gelände stark hügelig, so schmiegt sich der Gleiszug dieser Bodengestaltung im allgemeinen an; infolgedessen haben auch die älteren Untergrundbahnen der englischen Hauptstadt, desgleichen die Linien der neuen Pariser Stadtbahn fast den Charakter einer Gebirgsbahn.

Aber auch die Bedeutung und der Zweck der Bahn nebst ihrer Verkehrsstärke schaffen unterscheidende Merkmale. Linien des großen durchgehenden Verkehrs mit lebhaftem Schnellzugdienst erfordern neben einheitlicher Spurweite kräftigeren Unterbau, festere Gleise und leistungs-

fähigere Betriebsmittel (Lokomotiven und Wagen) als Strecken, die täglich nur von wenigen leichten Zügen langsam befahren werden oder die lediglich einem schwachen Güterverkehr dienen. Derartige Bahnen untergeordneter Bedeutung erhalten vielfach auch wegen der Kostenersparnis eine kleinere Spurweite als jene Vollbahnen. Auch ihr Oberbau wird leichter bemessen und ruht häufig, statt auf einem besonderen Bahnkörper, auf dem Fahrdamm der Landstraßen. Wir unterscheiden daher

II. nach diesen Gesichtspunkten:
   1) Hauptbahnen (Voll- oder Primärbahnen),
   2) Nebenbahnen (Sekundärbahnen) *)
   3) Kleinbahnen (Tertiärbahnen) *)

III. nach dem Verkehrszwecke:
   1) Personen- und Güterbahnen,
   2) Personenbahnen (Touristenbahnen),
   3) Güterbahnen (Schlepp-, Industrie-, Feld-, Waldbahnen usw.).

Auch die reinen Militärbahnen (Festungsbahnen usw.) gehören hierher. Weitere Unterscheidungsmerkmale ergeben sich

IV. aus der Größe der Spurweite:
   1) Bahnen mit Breitspur (Spur größer als 1435 mm),
   2) „ „ Voll- oder Normalspur (Spur = 1435 mm),
   3) „ „ Schmalspur (Spur kleiner als 1435 mm);

V. aus der Art der Triebkraft:**)
   1) Betrieb durch Dampf, Luft, Gas, Elektrizität,
   2) „ „ die Muskelkraft des Menschen oder der Tiere (Ochsen, Pferde, Maultiere),
   3) „ „ Schwerkraft;

*) Die Reichsvorschriften (Deutsche Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung) unterscheiden Haupt-, Neben- und Schmalspurbahnen. Kleinbahnen werden in einem besonderen (S. 20 genannten) Gesetze behandelt.

Der Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen unterscheidet Haupt-, Neben- und Lokalbahnen. In seinen „Technischen Vereinbarungen“ vom 1. Januar 1897 werden Nebenbahnen als vollspurige, mittels Dampfkraft durch Lokomotiven betriebene, dem öffentlichen Verkehr dienende Eisenbahnen erklärt, auf welche Betriebsmittel der Haupteisenbahnen übergehen können, bei denen aber die Fahrgeschwindigkeit von 40 km/st auf keinem Punkte der Bahn überschritten werden darf, und für die, der geringeren Geschwindigkeit und dem einfacheren Betriebe gemäß, erleichternde Bestimmungen Platz greifen dürfen.

In seinen „Grundzügen für Lokalbahnen“ erklärt er letztere als voll- oder schmalspurige Eisenbahnen untergeordneter Bedeutung, die dem öffentlichen Verkehre, jedoch vorwiegend dem Nahverkehre zu dienen haben, mittels Maschinenkraft betrieben werden, und bei denen in der Regel die Fahrgeschwindigkeit von 30 km/st auf keinem Punkte der Bahn überschritten werden darf. Hierzu gehören auch die Kleinbahnen, die nur durch ihre geringere Verkehrsbedeutung gekennzeichnet sind. (In Preußen zählen auch die Straßenbahnen zu den Kleinbahnen.)

**) Hiernach versteht man auch im allgemeinen unter „Eisenbahn“ eine Spur- oder Gleisbahn, auf der Fahrzeuge zum Zwecke der Personen- oder Güterbeförderung durch eine Triebkraft fortbewegt werden.

Die Entscheidung des deutschen Reichsgerichts vom 17. März 1879 über den Begriff „Eisenbahn“ lautet: „Eine Eisenbahn ist ein Unternehmen, gerichtet auf wiederholte Fortbewegung von Personen oder Sachen über nicht ganz unbedeutende Raumstrecken auf metallener Grundlage, welche durch ihre Konsistenz, Konstruktion und Glätte den Transport großer Gewichtsmassen, bezw. die Erzielung einer verhältnismäßig bedeutenden Schnelligkeit der Transportbewegung zu ermöglichen bestimmt ist und durch diese Eigenart, in Verbindung mit den außerdem zur Erzeugung der Transportbewegung benutzten Naturkräften (Dampf, Elektrizität, tierischer oder menschlicher Muskeltätigkeit, bei geneigter Bahn der Ebene auch schon der eigenen Schwere der Transportgefäße und deren Ladung usw.), bei dem Betriebe des Unternehmens auf derselben eine verhältnismäßig gewaltige, je nach den Um-

VI. aus der Art der Bewegungsübertragung:
1) Reibungs- oder Adhäsionsbahnen,
2) Zahn- oder Zahnradbahnen,
3) Seilbahnen einschließlich Kabelbahnen;

VII. aus der Zahl der Fahrschienen:
ein-, zwei- und mehrschienige Bahnen (Langesche Schwebebahn, Bahn von Lartigue, Meigs, Enoch, Behr usw.);

VIII. aus der Art des Besitzes:
1) Staatsbahnen,
2) Privatbahnen.

Die Bahnen Deutschlands und Italiens sind mit wenigen Ausnahmen Staatsbahnen. In allen anderen Ländern sind sie vorwiegend oder ausschließlich Privatbahnen; jedoch gehen neuzeitlich einzelne Länder mit der Verstaatlichung ihres Bahnnetzes vor, so z. B. die Schweiz, Österreich usw.

Als G. Stephenson seine erste Lokomotive für englische Kohlenbahnen baute, hatte er sie der Spurweite der bestehenden Gleise anzupassen. Diese betrug 4′ $8^1/_2$″ engl. = 1435 mm, ein Maß, das er auch der von ihm erbauten Stockton-Darlington Bahn — der ersten dem öffentlichen Verkehre dienenden Lokomotiveisenbahn — gab. Es wurde auch für alle von ihm später erbauten englischen Bahnen beibehalten und ist somit rein zufällig entstanden. Isambart Brunel, der berühmte Erbauer des ersten Themsetunnels, durch den sich jetzt ein lebhafter Zugverkehr unter der Themse abspielt, schlug 1833 eine Spurweite von 7′ engl. = 2135 mm vor, für die er verschiedene Vorteile ins Feld führte. Sie wurde für die von ihm erbaute Great Western Bahn angenommen und zur Unterscheidung von der Stephensonschen Spur Broadgauge (Breitspur) genannt. Auch auf einigen anderen Linien wurde sie angewendet. Verschiedene Spurweiten auf den Hauptbahnen eines Landes führen aber zu argen Unzuträglichkeiten. Die Fahrzeuge können nicht von einer Linie auf die andere übergehen, ein Durchgangsverkehr ist also unmöglich. Dies ist nicht nur für Handel und Verkehr lästig und kostspieliger wegen des mehrfachen Umladens der Güter, sondern auch in militärischer Hinsicht (Landesverteidigung) nachteilig. In der mehrjährigen lebhaften Preßfehde über die Zweckmäßigkeit der Brunel- und der Stephenson-Spurweite, the fight of gauges genannt, blieb die letztere Siegerin. Ein eigens zur Prüfung dieser Frage 1845 eingesetzter Parlamentsausschuß erkannte zwar die Richtigkeit des Brunelschen Hauptgedankens: daß die Breitspur eine größere Fahrgeschwindigkeit ermögliche als die enge Spur, an, gab aber aus technischen und wirtschaftlichen Gründen der letzteren den Vorzug, „da sie den Bau der Eisenbahnen erleichtere und weniger Kosten verursache“. Das Parlament nahm daraufhin ein Gesetz an, daß alle zukünftigen Bahnen Englands und Schottlands mit der engen Spur herzustellen seien. In Irland, wo eine ganze Anzahl verschiedener Spurweiten zur Ausführung gekommen waren, wurde ein einheitliches Maß von 5′ 3″ = 1600 mm vorgeschrieben. Mit Ausnahme der Great Western-Bahn wurden die anderen breiten Spurweiten in England auf das hinfort als normale Spur geltende

ständen nur in bezweckter Weise nützliche oder auch Menschenleben vernichtende und die menschliche Gesundheit verletzende Wirkung zu erzeugen fähig ist.“

Auf der am 5. Februar 1834 eröffneten, 67 km langen französischen Bahn Andrezieux-Roanne standen anfangs vier verschiedene Betriebsarten gleichzeitig in Benutzung. Die Züge wurden je nach der Neigung der Strecke durch Pferde, Lokomotiven, stehende Dampfmaschinen mit Seilbetrieb sowie durch ihre eigene Schwere befördert. Vgl. Audiganne a. a. O. Vgl. auch Fußnote S. 22.

Maß von 1435 mm umgebaut, und die Brunelsche Spur blieb auf die erstere Bahnlinie beschränkt. Ihre Verwaltung sah sich später gezwungen, ihr Netz auch den normalspurigen Fahrzeugen anzupassen. Es wurde zu dem Zwecke in die Breitspur eine dritte Schiene eingelegt (Abb. 61 im Abschnitt „Oberbau"), so daß auf diesem dreischienigen Oberbaue breit- und engspurige Fahrzeuge laufen konnten.*) Im Jahre 1892 wurde die Breitspur engdültig beseitigt, so daß seitdem die Bahnen Englands und Schottlands einheitliches Spurmaß besitzen. Durch Lieferung englischer Lokomotiven (zumeist aus der Stephensonschen Fabrik) an die ersten belgischen und deutschen Bahnen kam jenes Maß von 1435 mm auch auf dem Festlande zur Geltung — leider, wie wir heute bekennen müssen, denn, wie im Abschnitt „Lokomotiven" näher dargelegt, ist es heute infolge der durch diese enge Spur begrenzten Konstruktionsbreite äußerst schwierig, die Leistungsfähigkeit der Lokomotive den fortwährend wachsenden Verkehrsanforderungen anzupassen. Unsere stärksten Lokomotiven zeigen zurzeit bereits Kesselabmessungen, die in zweckmäßiger Weise kaum noch gesteigert werden können.

In Europa und Nordamerika ist das englische Spurmaß (1435 mm) vorherrschend, das sich überhaupt auf etwa Dreiviertel aller Eisenbahnen in der Welt vorfindet. In Frankreich mißt zwar die Spurweite genau 1440 mm, jedoch können die Fahrzeuge der vollspurigen Anschlußbahnen anstandslos auf den französischen Bahnen verkehren.

Nur Länder, in denen von Natur ein Durchgangsverkehr mit den Nachbarstaaten unmöglich gemacht oder erschwert ist, oder die ihn aus politischen bezw. militärischen Gründen ablehnten, wählten eine andere Spur. Sie beträgt z. B. in Rußland 5′ engl. = 1524 mm, in Irland 5′ 3″ = 1600 mm, in Spanien und Portugal 5′ 6″ = 1676 mm. Letzteres Maß zeigt auch ein Teil der ostindischen, argentinischen und chilenischen Bahnen.

Schmalspurbahnen. Große Spurweiten bedingen naturgemäß flache Gleiskurven und breite Bahnkörper, machen somit die Anlage teuer. Man ist deshalb für Bahnen mit schwachem Verkehre oder aus finanziellen Gründen vielfach zu einer kleineren Spurweite als 1435 mm übergegangen (Schmalspurbahnen). Der hierbei zulässige kleinere Kurvenhalbmesser und die wegen der leichteren Züge auch ermöglichte stärkere Steigung gestatten nun im Hügel- und Gebirgslande ein viel besseres Anschmiegen der Bahnlinie an die Bodengestaltung. Die stets kostspieligen Kunstbauten und Erdarbeiten werden bei enger Spur wesentlich eingeschränkt. Schmalspurbahnen stellen sich deshalb billiger als eine Vollbahn, auch Betrieb, Unterhaltung und Bewachung erfordern geringere Summen. Sie sind daher in dünnbevölkerten Gegenden, wo kein lebhafter Verkehr zu erwarten steht, sehr am Platze. In unserer Zeit finden sie als Kleinbahnen eine stark wachsende Verbreitung.

Die Spurweite der deutschen Schmalspurbahnen beträgt 1000, 750 oder 600 mm.**) Abweichungen kommen vielfach im Auslande vor, so zeigen schwedische und norwegische Bahnen 871 und 1067 mm, bosnische Bahnen 760, die Wengernalpbahn 800, die Linie Beirut-Damaskus 1050, die japanischen und kapländischen Bahnen $3^1/_2$′ engl. = 1067 mm (Kapspur) usw.

*) Nach Mitteilung der Bahnverwaltung an den Verfasser im Jahre 1891 zeigten die auf der doppelspurigen Strecke verkehrenden Züge auch in der Neuzeit noch zu gunsten der Breitspur einen kleinen Unterschied in der Fahrgeschwindigkeit.

**) Das preußische Gesetz über Kleinbahnen und Privat-Anschlußbahnen vom 28. Juli 1892 schreibt diese Maße außer der Vollspur vor. Die Spurweite deutscher Nebenbahnen ist durch § 9 der Eisenbahnbau- und Betriebsordnung vom Jahre 1905 mit 1435, 1000 und 750 mm festgelegt.

Das kleinste Maß, nämlich 1′ $11^1/_4$″ = 591 mm, besitzen zwei Bahnen in Wales, darunter die im Jahre 1832 erbaute Festiniogbahn, die zugleich die älteste der Schmalspurbahnen ist. Die Engländer konnten sich somit bis 1892 rühmen, die größte und auch die kleinste aller Spurweiten, welche bei den dem öffentlichen Verkehre dienenden Bahnen vorkommen, in ihrem Lande zu besitzen. Die Festiniogbahn verbindet den Hafenplatz Portmadoc mit der 214 m höher gelegenen Ortschaft Dinas. Von der fast 23 km langen Linie liegen 20 km in der Steigung, die im Mittel 11‰ (1:92), im Höchstwerte $14^1/_2$‰ (1:69) beträgt. Gleisbögen sind sehr zahlreich, ihr kleinster Halbmesser beträgt 35 m.*)

Die Erfahrung hat gezeigt, daß für Gebirgsbahnen mit so lebhaftem Personen- und Güterverkehre, wie ihn diese Liliputbahn aufweist, derartig schmale Gleise nicht zweckmäßig sind. Man geht heutigestags nur ausnahmsweise bei den namentlich für Personenverkehr bestimmten Bahnen mit der Spurweite auf 60 cm herab, wendet sie dagegen für Sonderzwecke, wie Ausstellungsbahnen, Militärbahnen, vor allem für Industrie-, Feld- und Waldbahnen häufig an. Décauville in Frankreich bildete bereits vor fünfundzwanzig Jahren für die eben genannten Zwecke Schmalspurbahnen in vielseitigster Weise aus, sowohl was die Gleise als auch die Wagen anbetrifft. Für vorübergehende Zwecke, wie Wald- und Landwirtschaftsbahnen (Rübenbau usw.), für Erdarbeiten, Materialbeschaffung zu größeren Bauten usw. stellt man den Oberbau aus tragbaren Gleisjochen her. Die Schienen von 2—6 m Länge sind hier bereits in der Fabrik mit den Eisenschwellen fest verbunden, so daß nicht nur das Verlegen des Gleises schnell erfolgen kann, sondern auch seine Wiederaufnahme und sein Umlegen an anderer Stelle. Décauville erregte auf der Pariser Ausstellung 1889 mit einer solchen, dem besonders lebhaften Personenverkehre dienenden Bahn von 60 cm Spurweite Aufsehen. Die Linie war 3 km lang, ihre größte Steigung betrug 25‰ (1:40), der kleinste Gleisbogen hatte nur 30 m

---

*) Ursprünglich für den Schiefertransport der zahlreichen um Dinas gelegenen Schieferbrüche bestimmt, die durch Bremsberge der Neigung 200‰ (1:5) bis 1300‰ (1:$^3/_4$) mit der Bahn in Verbindung stehen, wurde bis zu Anfang der sechziger Jahre der Betrieb durch Pferde bewirkt. Diese zogen die Wagen ins Gebirge hinauf und wurden mit den infolge der Schwerkraft talwärts gehenden Lastzügen wieder abwärts befördert. Auch jetzt noch werden die beladenen Schieferwagen, zu langen Zügen zusammengestellt, unter Begleitung einiger Bremser lediglich durch ihre Schwerkraft zu Tal gesandt.

Die Pferde wurden 1863 durch $7^1/_2$ t schwere Lokomotiven abgelöst, was seinerzeit wegen der außerordentlich kleinen Spurweite dieser Bahn großes Aufsehen erregte, das noch gesteigert wurde, als sechs Jahre später die langgebauten 19,8 t schweren Fairlie-Lokomotiven eingeführt wurden. Die erste der letztgenannten Bauart führte auch den bezeichnenden Namen „Little Wonder".

Das Bähnchen erfreut sich eines großen Verkehres, beförderte es doch bereits im Jahre 1869 nicht weniger als 97 000 Reisende, welche Zahl jetzt auf rund 140 000 angewachsen ist, daneben werden jährlich etwa 115 Millionen kg Güter, meistens Schiefer, aber auch Kohlen, Holz usw. verfrachtet. Sonntags ruht der Betrieb.

Eigenartig sind die kleinen 3 m langen älteren Personenwagen, die oberhalb des Fußbodens nur aus Dach und zwei Stirnwänden mit zwei Längssitzen in der Mitte bestehen und an den Seiten durch einen Lederschurz abgeschlossen werden. Sie fassen zwölf Personen. Ihr Fußboden liegt 20 cm über den Schienen, daher eigentliche Bahnsteige auf den Stationen fehlen. Die Schieferwagen sind rohe Holzkarren ohne Federung, von ihnen stehen etwa 1100 Stück in Benutzung. Abb. 4 zeigt eine Station dieser Bahn mit zwei zur Abfahrt bereitstehenden Zügen. Sie scheinen für Zwerge gebaut zu sein, bieten jedoch dem Reisenden in den neueren Wagen erster Klasse volle Bequemlichkeit.

Die Bauart der ganzen Bahnanlage mit ihren Dämmen, Tunneln, Einschnitten und ihr Betrieb sind höchst eigenartig durchgeführt. Die landschaftliche Umrahmung ist malerisch und eine Fahrt auf dieser Linie, zumal auf der Lokomotive, offenbart die ganze Wildheit der schluchtenreichen Gebirgswelt von Wales.

Halbmesser. Die Gleise bestanden aus 5 m langen Jochen. Lokomotiven und Wagen waren kurvenbeweglich, die ersteren nach der Bauart Mallet (vergl. „Lokomotiven"). Heutigestags haben sich eine ganze Anzahl von Bauarten für diese so nützlichen Bahnen herausgebildet. Es seien hier nur diejenigen von Krupp in Essen, vom Osnabrücker Stahlwerk und von Koppel in Berlin genannt. Einige bemerkenswerte Ausführungen der letztgenannten Firma sind in Abb. 5—8 zusammengestellt. Sie zeigen nicht nur die vielseitigen Verwendungszwecke der Schmalspur, sondern auch die verschiedenartige Ausbildung der Wagen, sowie die mannigfache Art ihrer Triebkraft.*)

Auch eine deutsche Kleinbahn von 60 cm Spurweite sei hier genannt. Es ist die im Jahre 1897 vollendete 17,2 km lange Bahn von Kirchlengern

Abb. 4. **Die Festiniogbahn in Wales.**
(Spurweite 591 mm.)

nach Wallücke nahe der Porta. Diese von dem Osnabrücker Stahlwerk erbaute und vornehmlich dem Erztransporte, aber auch dem Personen- und sonstigem Güterversande dienende Bahn weist einen sehr kräftigen Oberbau (Abb. 68—72), kurvenbewegliche Lokomotiven (Abb. 216) und geräumige Drehgestellwagen auf. Die größte Steigung beträgt $32^0/_{00}$ (1 : 31), der kleinste Krümmungshalbmesser auf freier Strecke 60 m. Diese Bahn,

*) Auf der 31 km langen japanischen Schmalspurbahn Odawara-Atami (60 cm Spur) werden die Personenzüge durch Menschen befördert. Das Gleis bildet einen vielfach und stark gebrochenen Linienzug. Die Züge bestehen aus drei, sich in wenigen Metern folgenden Einzelwagen I., II. und III. Klasse. Diese werden bergauf durch je drei Mann langsam hinaufgeschoben, bergab jedoch in schneller Fahrt durch die Schwerkraft getrieben, wobei die Wagenschieber auf einem Trittbrett Platz nehmen. Die ganze Strecke wird einschließlich der Zwischenaufenthalte in vier Stunden zurückgelegt. Näheres nebst Abb. vgl. in Zeitschrift des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen 1904, S. 98.

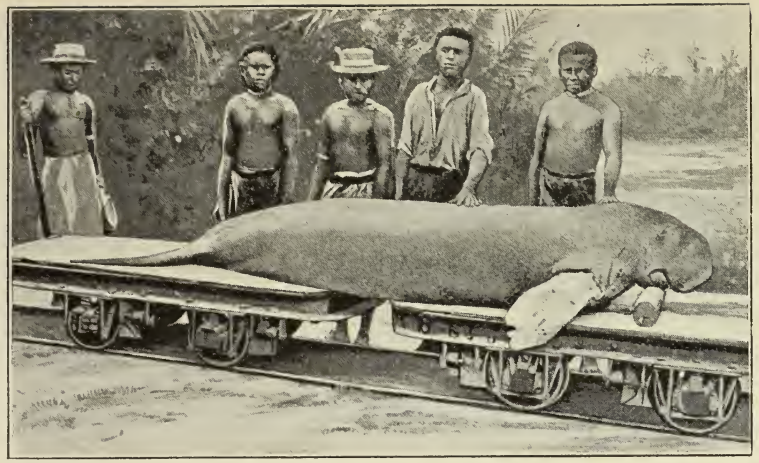


Abb. 5. Feldbahn mit Hand- oder Tierbetrieb in Neuguinea.

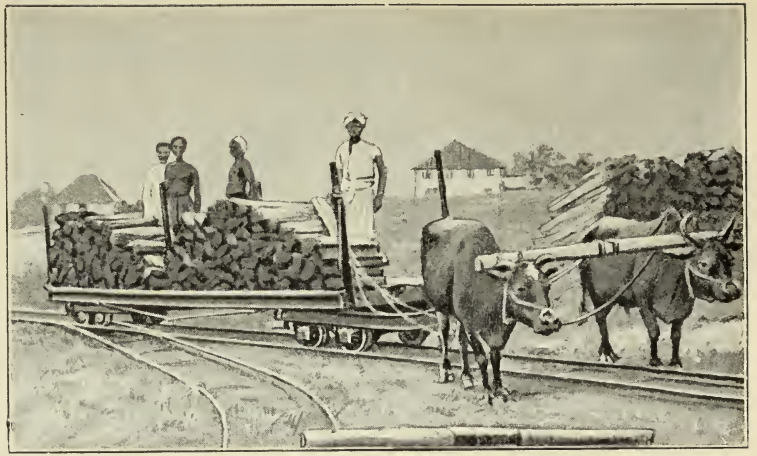


Abb. 6. Feldbahn mit Tierbetrieb in Niederländisch-Indien.

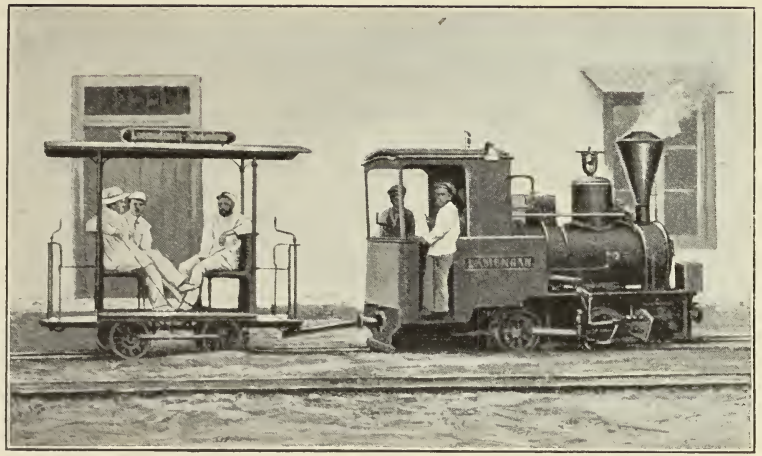


Abb. 7. Feldbahn mit Dampfbetrieb in Java.

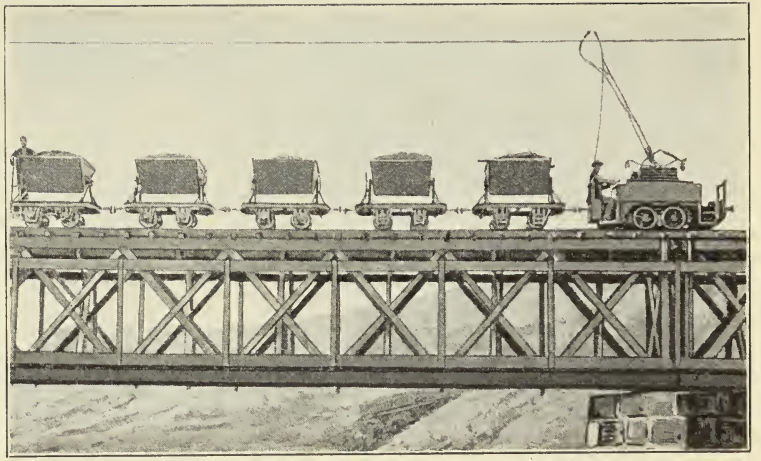


Abb. 8. Feldbahn mit elektrischem Betrieb in Transvaal.

Abb. 5—8. **Feldbahnen mit verschiedener Betriebsart.** (Nach Aufnahmen der Fabrik für Eisenbahnbedarf A. Koppel in Berlin.)

in der Spurweite nur 1 cm größer als die vielbewunderte Festiniogbahn, zeigt aufs neue, wie wirtschaftlich vorteilhaft das in unserer Zeit so gepflegte Kleinbahnwesen für abgelegene und dünnbevölkerte Gegenden sein kann.

Die aus tragbaren Jochen hergestellten, von Zwillingslokomotiven befahrenen Feldbahnen der deutschen Eisenbahntruppen haben ebenfalls 60 cm-Spur. Mit gleichem Gleisbau ist bekanntlich in Westafrika die 382 km lange Bahnlinie Swakopmund-Windhuk versehen, die sich bereits höchst nützlich für unsere dortige Kolonie erwiesen hat. Bemerkenswert ist der Höhenplan dieser Bahn, vgl. die Tafel „Gebirgsbahnen", S. 76. Nur 180 km von der Küste entfernt, hat die Linie schon rund 1300 m erklommen, liegt also fast so hoch wie der Scheitelpunkt der Brennerbahn, während Windhuk noch 270 m höher als dieser liegt.

Die 82 km lange Darjeeling-Bahn am Himalaja, welche in 76 km langem Laufe 2128 m Höhe ersteigt, hat 2′ = 61 cm Spurweite und vermittelt den Verkehr zwischen diesem als Sommerfrische viel benutzten Höhenorte (2080 m über Meer, 170 m unter der Paßhöhe) und Siliguri, dem anderen 122 m über Meer gelegenen Endpunkte dieser kühnen Bergbahn. Sie dürfte unter allen 60 cm-Schmalspurbahnen wohl die bedeutendste sein, sowohl was Höhengewinn als auch namentlich die Linienführung betrifft. In kühnen Windungen, oft in Schleifen und Schlingen (S. 67), sowie in Zickzacklinien (Abb. 28), auf denen die Lokomotive den Zug bald zieht, bald vor sich hinschiebt, klettert die Zwergbahn an den Berglehnen empor (vgl. S. 42), dem Reisenden ein fesselndes Panorama auf den 8580 m hohen Kantschindschinga und die schneebedeckten Himalajaketten entrollend.

Die kleinste von Lokomotiven befahrene und dauerndem Zwecke dienende Schienenstraße dürfte die Schmalspur von Eaton Hall nach Balderton sein, die sich der Herzog von Westminster mit nur $1^1/_4$′ engl. = 381 mm Spur hat bauen lassen. Andere Zwergbahnen stehen in den Kriegsarsenalen zu Woolwich und Chatham, sowie in der Eisenbahnwerkstätte zu Crewe (England) in Benutzung. Sie haben $1^1/_2$′ engl. = 457 mm Spurweite. Winzig kleine Dampflokomotiven vermitteln in Crewe den Materialtransport zwischen den einzelnen Arbeitsräumen und den Speichern dieser 7500 Arbeiter zählenden und gleichzeitig Hüttenwerk, Lokomotivfabrik sowie Reparaturwerkstätte bildenden Riesenanlage.

Auf die Wahl der Spurweite haben übrigens die Windverhältnisse der betreffenden Gegend bestimmenden Einfluß. Je schmaler das Gleis, desto geringer ist auch die Standfähigkeit der Wagen bei heftigem Sturmwinde, desto eher können sie um die eine Schiene durch Sturm umgekippt werden.*) Bezeichnet in Abb. 9 *G* das Gewicht des Wagens, *W* den Winddruck

*) Auf der schmalspurigen Nipponbahn (1067 mm Spur) wurde am 7. Okt. 1899 der hintere, aus acht Personenwagen bestehende Teil eines gemischten Zuges durch einen Orkan von der Brücke in einen Fluß hinabgeweht. Die Fahrbahn der 274 m langen, über den Hokifluß führenden Brücke liegt oben auf den Hauptträgern und war durch keinerlei Geländer geschützt. Die Reisenden wurden teils getötet, teils schwer verletzt. Die Personenwagen wiegen 7000 bis 7500 kg, und es genügt zu ihrem Umkippen ein Winddruck von 122 bis 130 kg auf 1 qm. Japan wird häufig von schweren Orkanen (Taifun) heimgesucht. Für die Staatsbahnen jenes Landes besteht seit einigen Jahren die Vorschrift, daß während besonders heftiger Stürme die Züge nicht von den Stationen abgelassen werden dürfen. Am Unfalltage wurden in der kritischen Zeit drei Züge in den Stationen zurückgehalten, wodurch sie wahrscheinlich der Gefahr des Umkippens entronnen sind. Hier rächt sich die Wahl der Schmalspur.

Doch auch auf normalspurigen Bahnen kommt bisweilen bei besonders heftigem Sturm ein Umkippen von Wagen vor. So wurde z. B. im Jahre 1868 auf der französischen Südbahn ein Personenzug umgeweht, wobei ein Winddruck größer als 154 kg/qm, jedoch kleiner als 254 kg/qm geherrscht hatte. In der Neuzeit ereignete sich ein ähnlicher Fall in England auf der Furneß-Bahn. Am 27. Februar 1903 wurde hier ein auf einer Eisenbahnbrücke haltender Zug umgekippt. Die Fahrbahn

auf die Längsseite des Wagens, s die Spurweite und h den Abstand der im Schwerpunkt der Wagenfläche angreifenden Kraft W von der Schienenoberkante, so sucht W den Wagen um die linke Schiene zu kippen. Für die Grenze des Gleichgewichtes besteht sonach die Beziehung:

$$W \cdot h = G \cdot s/_2$$

oder

$$W = \frac{G \cdot s}{2 \cdot h};$$

d. h. der Winddruck, der einen G kg wiegenden Wagen zum Kippen bringt, muß um so größer sein, je größer die Spurweite s ist. Die Standfähigkeit des Wagens wächst also in gleichem Verhältnis mit der größer gewählten Spur.

Im Hochgebirge hat man mehrfach die 80 cm- und 76 cm-Spur gewählt (Berner Oberland, Pilatus, Monte Generoso, Südamerika). Neuerdings zieht man hier jedoch wegen der erwähnten Sturmwirkung die Meterspur vor; so sind z. B. die beiden 1898 eröffneten und elektrisch betriebenen Zahnbahnen, die auf den Gornergrat und die offene Zufahrstrecke Scheidegg-Eigergletscher der Jungfraubahn mit 100 cm Spurweite gebaut.

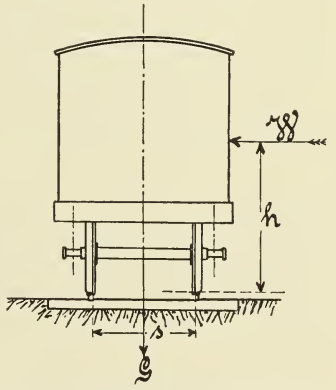


Abb. 9. Standsicherheit der Wagen.

Auch ungewöhnliche Schwierigkeiten im Bau und in der Geldbeschaffung können die Spurweiten beeinflussen. Ein beredtes Beispiel hierfür bietet die zurzeit fast vollendete, rund 1440 km lange südamerikanische Überlandbahn Buenos Aires-Valparaiso. Ihr 243 km langes Mittel- bezw. Schlußstück, die sogenannte Transandino-Bahn (Mendoza-Santa Rosa de los Andes) übersetzt die Anden. Die 1047 km lange argentinische Anschlußstrecke (über Mercedes) bis Mendoza (719 m über Meer) hat 1676 mm Spur, die chilenische bis Los Andes (830 m über Meer) zeigt ein gleiches Maß. Es lag sonach nahe, dem Schlußstück, das nur ein Sechstel der Gesamtlänge ausmacht, dasselbe Spurmaß zu geben, damit ein Durchgangsverkehr von Küste zu Küste ermöglicht wurde. Aus den vorgenannten beiden Gründen entschloß man sich aber für eine Schmalspur von 1000 mm, die natürlich nunmehr doppeltes Umsteigen der Reisenden und doppelte Umladung der Frachtgüter notwendig macht.

Die Transandino-Bahn ist als Reibungsbahn mit eingeschalteten Zahnstangenrampen*) gebaut; die erstere hat bis 25‰ (1 : 40) Steigung, die

---

lag oben und war nur durch ein schwaches Geländer eingefaßt. Die leichteren Wagen des Zuges konnten durch einen Winddruck von 160 kg/qm umgeworfen werden, die schwereren durch einen solchen von 205 kg/qm.

Am 23. April 1904 wurden auf der Strecke Teplitz-Reichenberg drei Personenwagen eines fahrenden Zuges durch den Winddruck aus dem Gleise geworfen.

Auf der mit 800 mm Spur angelegten Wengernalpbahn (Lauterbrunnen-Kleine Scheidegg-Grindelwald) besteht die Vorschrift, daß die zum Schließen der Seitenöffnungen der Personenwagen dienenden Segeltuchgardinen bei heftigem Winde aufgerollt bleiben müssen, um durch die so erreichte Verminderung der Druckfläche die Größe des Winddruckes (W in Abb. 9) und damit die Gefahr des Umkippens geringer zu halten.

*) Im Jahre 1906 fehlten noch etwa 19 km an der Fertigstellung. Die Bahn ist auf argentinischer Seite fast vollendet. Der zurzeit noch nicht ausgebaute Abschnitt vom Scheiteltunnel nach Juncal (2218 m ü. M.) wird auf Saumpfaden mit dem Maultier zurückgelegt. Die ganze Strecke Valparaiso-Buenos Aires beansprucht zurzeit mit den verschiedenen Reisemitteln 54 Stunden, demnächst aber nur noch etwa 50.

letzteren zeigen bis 83‰ (1 : 12,1). Ihr höchster Punkt liegt im Scheiteltunnel bei La Cumbre an der chilenisch-argentinischen Landesgrenze, 3190 m ü. M., während die Paßhöhe einige hundert Meter höher hinauf reicht. Die steil ansteigende westliche Andenseite ist besonders reich an Kunstbauten und Tunneln; die Gesamtlänge der letzteren beträgt 16 km. Hätte man die Bahn mit der Breitspur ausführen wollen, so würden ihre Anlagekosten eine solche Höhe erreicht haben, daß der Bau in jenen stets geldknappen Ländern auf absehbare Zeiten nicht in Angriff genommen sein würde.

III. Anlagekosten der Eisenbahnen.

A. In den einzelnen Ländern.

Die durchschnittlichen Anlagekosten für 1 km Bahnlänge sind in den einzelnen Ländern sehr verschieden. Örtliche Verhältnisse und Geländebildung, Preis des Bodens, Zahl, Größe und Ausführung der Kunstbauten beeinflussen sie sehr, ferner der Ausbau des Liniennetzes mit zwei oder mehr Gleisen, die Ausdehnung der Bahnhofsanlagen sowie auch die Ausstattung mit Sicherungsvorrichtungen und mit Betriebsmitteln, vgl. auch S. 9. In Europa sind die englischen Bahnen durchschnittlich am teuersten gebaut, die dänischen am billigsten.

Die Durchschnittskosten für 1 km betragen nach dem „Archiv für Eisenbahnwesen“ 1906:

a) Europa.

England	682 805 M.	Schweiz	266 711 M.
Belgien (Staatsbahnen)	418 274 „	Deutschland	262 284 „
Frankreich	317 229 „	Holland	215 614 „
Österreich	279 855 „	Rußland (ohne Finland)	197 126 „
Ungarn	164 165 „	Dänemark	117 214 „

b) Amerika.

Vereinigte Staaten von Nordamerika . . .	167 752 M.	Chile (Staatsbahnen) .	140 454 M.
		Argentinien	130 736 „

c) Asien.

Britisch-Ostindien . .	106 654 M.	Japan	106 580 M.

d) Australien.

Neu-Südwales . . .	163 428 M.	Queensland	90 450 M.
Viktoria	154 566 „	Westaustralien . . .	73 967 „

In den vorstehenden Zahlwerten sind auch die Schmalspurbahnen berücksichtigt. Für deutsche Vollspurbahnen allein (Haupt- und Nebenbahnen) betragen die Anlagekosten für 1 km: *)

Baden	424 849 M.	Bayern.	260 821 M.
Sachsen	366 494 „	Oldenburg	127 007 „
Württemberg . . .	354 038 „	Mecklenburg	101 335 „
Preußen-Hessen . . .	275 876 „		

und durchschnittlich in Deutschland: 283 141 Mark. Darnach hat Baden am teuersten, Mecklenburg am billigsten gebaut.

*) Statistische Nachrichten von den Eisenbahnen des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen für das Rechnungsjahr 1903. Herausgegeben Berlin 1905.

Deutsche Schmalspurbahnen von 75 bis 100 cm Spurweite haben gekostet 24 000 bis 110 000 M/km.

Nach der amtlichen Denkschrift vom 11. März 1904: „Über die Entwicklung der nebenbahnähnlichen Kleinbahnen in Preußen" beträgt das durchschnittliche Anlagekapital für 1 km der insgesamt derzeit vorhandenen 7300 km dieser Bahnen bei

1435 mm Spurweite . . 79 553 M., 750 mm Spurweite . . 37 301 M.,
1000 „ „ . . 52 310 „, 600 „ „ . . 22 254 „.

Setzt man den Durchschnittswert für Vollspur (1435 mm) = 1, so ergeben sich folgende bemerkenswerte Verhältniszahlen:

Spurweite =	1435	1000	750	600 mm
Kosten =	1	0,66	0,47	0,28 „

Unsere afrikanischen Schmalspurbahnen haben gekostet:

Swakopmund-Windhuk (382 km mit 600 mm Spur) . . . 36 650 M/km
Tanga-Muhesa (46 km mit 1000 mm Spur) . . . . . 65 100 „

B. Insgesamt.

Stellt man die Bahnen Europas und die aller anderen Erdteile in Vergleich, so hat 1 km in Europa durchschnittlich beinahe doppelt so viel gekostet wie in allen übrigen Erdteilen und zwar:

a) europäische Länder . . . . . 294 461 M.
b) außereuropäische Länder . . . . 151 409 „

Die Gesamtkosten ergeben sich daher für

Europa zu	305 407	× 294 461 =	89 991 532 027 M.
übrige Erdteile zu . .	580 906	× 151 409 =	87 954 396 554 „
Zusammen	886 313 km		= 177 945 928 581 M.

oder rund 178 Milliarden Mark.

IV. Bauliches, Zugwiderstände, Krümmungs- und Steigungsverhältnisse.

1. Bauliches.

Eine Bahnlinie ist nun durch das Gelände so zu führen, daß sie nicht nur den Verkehrsbedürfnissen gerecht wird, sondern auch unter den verschiedenen möglichen Linien die billigste in bezug auf Anlage-, Betriebs- und Unterhaltungskosten ist. Es erfordert dies sorgfältige Voruntersuchungen technischer und wirtschaftlicher Art, sowie eingehende Berechnungen. Im Flachlande gestaltet sich natürlich die Sache einfacher als im Hügellande oder gar im Gebirge. Da gibt es u. a. den mutmaßlichen Verkehr der Bahn nach ihren beiden Fahrrichtungen hin, auf Grund der wirtschaftlichen und Verkehrsverhältnisse der zu durchfahrenden und anzuschließenden Gegenden, abzuschätzen, um Ertragsberechnungen aufstellen zu können, da sind geologische Bodenuntersuchungen vorzunehmen zwecks Klarlegung der anzutreffenden Gesteinsschichten nach Art, Steigen und Fallen; denn darnach richtet sich wieder die Beschaffenheit und der Preis der Erdarbeiten usw., werden gefährliche Schichtenbildungen erkannt, die später zu Rutschungen Anlaß geben könnten und die daher durch Verlegen der Linie umgangen, sonst aber durch besondere Bauten abgefangen werden müssen. Der Wert der Nutzländereien ist festzustellen, damit erforderlichenfalls wertvollen Grundstücken — Grubenfeldern, Steinbrüchen usw. —

durch Bahnkrümmungen aus dem Wege gegangen oder die dafür zu zahlende Entschädigungssumme in Ansatz gebracht werden kann. Die Hochwasserverhältnisse der Wasserläufe müssen wegen der Brücken, Dämme, Durchlässe usw. klargestellt werden, desgleichen die Entnahmestellen für das Kesselspeisewasser (Wasserstationen) und die Absturzstellen von Lawinen. Alle Bodensenkungen und Erhebungen sind in entsprechender Breitenerstreckung sorgfältig zu vermessen und genaue Karten darnach anzufertigen (mit Höhenlinien), welche ein getreues Spiegelbild des Geländes mit allen Bauten, etwaigen Sümpfen, Mooren, Hochwassergrenzen usw. liefern. Aus diesen Karten ist dann der vorteilhafteste Verlauf der Bahnlinie zu entnehmen, wobei es besonders auch auf das zweckmäßigste Steigungsverhältnis ankommt, das ihr unter den vorliegenden Umständen zu geben ist.*)

Dann kommt die Prüfung und Bearbeitung der rein technischen Punkte, wie Anordnung des Bahnkörpers (Dämme, An- und Einschnitte) mit den Stütz- und Futtermauern, den Böschungsabdeckungen und Durchlässen, der Brücken, Tunnel, Talbrücken, Schutzgalerien gegen Steinstürze und Lawinen usw. Wechseln Einschnitte und Dämme miteinander ab, so ist noch zu prüfen, ob das aus ersteren gewonnene Material (der „Abtrag") für das Schütten des letzteren („der Auftrag") ausreicht oder ob und wo seitliche Bodenentnahmen bezw. Bodenablagerungen bewirkt werden müssen.**)

Jeder Eisenbahnentwurf bedarf der staatlichen Genehmigung.***) Behufs ihrer Erlangung ist ein nach bestimmten Vorschriften bearbeiteter Plan aufzustellen. Hierzu benötigt es der „allgemeinen Vorarbeiten".†) Nach erfolgter Genehmigung wird die Linie im Gelände genauer abgesteckt, der Grunderwerb††) eingeleitet und auf Grund der nun auszuführenden „besonderen" oder „ausführlichen Vorarbeiten" ein endgültiger Plan mit allen Einzelheiten ausgearbeitet. Der Unterschied beider Arten von Vorarbeiten ergibt sich ohne weiteres schon aus ihren Beiwörtern. Er ist in den vorstehenden Erörterungen nicht zum besonderen Ausdruck gelangt, da es hier darauf ankam, ein knappes Gesamtbild von den zur Festlegung einer Eisenbahnlinie erforderlichen Hauptarbeiten zu geben.

Eingehende Überlegung verursachen noch diejenigen Bauwerke, deren Herstellung längere Zeit in Anspruch nimmt. Vor ihrer Inangriffnahme wird ein sorgsam durchdachtes Bauprogramm aufgestellt, das ein übersichtliches Bild von den demnächstigen einzelnen Vorgängen geben muß,

---

*) Vergl. hierüber Launhardt, „Theorie des Trassierens" 1884 und 1888.

**) Näheres vgl. Goering, Massenermittlung, Massenverteilung und Transportkosten. 4. Aufl. 1902.

***) In Preußen ist nach dem Eisenbahngesetz vom 3. November 1838 die landesherrliche Genehmigung zum Bau einer Eisenbahn erforderlich. Die Entwürfe zu Haupt- und Nebenbahnen werden durch den Minister der öffentlichen Arbeiten geprüft, der auch die Erlaubnis zur Vornahme der Vorarbeiten erteilt.

Kleinbahnen unterstehen den örtlichen Behörden; vergl. das preußische Kleinbahngesetz vom 28. Juli 1892 nebst Ausführungs-Anweisung vom 13. August 1898, mit Nachtrag vom 29. November 1900. Für deutsche Bahnen sind maßgebend:

a) Für Haupt- und Nebenbahnen:
   1. die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung, gültig vom 1. Mai 1905,
   2. die technischen Vereinbarungen des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen vom 1. Januar 1897 mit Nachträgen vom Dezember 1898 u. 1900.

b) Für Klein- und Lokalbahnen:
   Grundzüge für den Bau und die Betriebseinrichtungen der Lokalbahnen vom 1. Januar 1897.

†) Für preußische Staatsbahnen vergl. „Vorschriften über allgemeine Vorarbeiten für Eisenbahnen" vom 15. Mai 1897.

††) Für Preußen, vgl. Gesetz über die Enteignung von Grundeigentum vom 11. Juni 1874.

namentlich noch hinsichtlich ihrer mutmaßlichen Zeitdauer. Nur dann kann ein solcher Bau ordnungsgemäß und sparsam erstellt werden. Da müssen rechtzeitig Arbeiter angeworben und untergebracht werden, Zugangswege für sie und die Fuhrwerke erstellt, Schüttgerüste, Hilfsbrücken usw. angelegt, maschinelle Einrichtungen getroffen und für Beschaffung der Betriebskraft Sorge getragen werden. Kein größeres Bauwerk kann heutigestags der Maschinentätigkeit entraten. Gewaltige Grabmaschinen bearbeiten die Einschnitte, soweit nicht die Härte des Bodens zu anderen Mitteln zwingt, Bohrmaschinen — durch Preßluft, Druckwasser oder Elektrizität angetrieben — wirken in den Tunneln, Bläser (Ventilatoren) oder Sauger (Aspiratoren) sorgen für gute Luft in den letzteren, Mörtel-, Hebe- und Pumpmaschinen u. a. sind an den verschiedenen Baustellen tätig, während Lokomotiven durch Dampf, Druckluft oder Elektrizität bewegt, oder auch Seilbahnen die Materialientransporte übernehmen. Von besonderer Wichtigkeit ist hierbei die Schaffung der Betriebskraft. In den Bergen hat ja meistens die Natur selbst hierfür gesorgt durch Wasserfälle und stark fließende Flußläufe. Der Ingenieur weiß sie nutzbringend in seinen Dienst zu stellen. Er leitet das Wasser durch Röhren, oft von beträchtlicher Länge, auf Turbinen und Wassersäulenmaschinen, setzt dessen Energie in diesen um in mechanische Arbeit, die ihm Luftkompressoren, Druckpumpen oder Dynamomaschinen antreibt, je nachdem Druckluft, Preßwasser oder Elektrizität Verwendung finden soll.

Nach dem bahnbrechenden Gesetz von der Erhaltung der Energie, das der Heilbronner Arzt Robert Mayer*) entdeckte und i. J. 1842 veröffentlichte, sind ja mechanische Arbeit, Elektrizität, Licht, Wärme, Magnetismus, chemisches Arbeitsvermögen lediglich verschiedene Formen ein und derselben ursprünglichen Größe, hier in unserem Falle der durch die Sonnenwärme in dem Wasserfalle aufgespeicherten Energie der Lage. Auf diesem hochwichtigen Gesetze beruht der wirtschaftliche Segen, den in unserer Zeit der Ingenieur durch Nutzbarmachung der Naturkräfte (Wasser, Wind, Wärme) vermittelst mechanischer und elektrischer Kraftübertragung überall zur Geltung bringt. Am St. Gotthard hatte man (1873—1882) an beiden Mündungsstellen des großen Tunnels umfangreiche Kraftstationen errichtet, in denen das Wasser der Reuß und des Tessin Turbinen antrieb, die ihrerseits Luftkompressoren bewegten zur Erzeugung von Druckluft, die in großen eisernen Behältern angesammelt wurde. Diese trieb die Luftbohrmaschinen im Tunnel, setzte die Lokomotiven der Materialzüge in Bewegung, lüftete die Tunnelstrecken usw. Mit ihnen war je eine Maschinenwerkstätte verbunden für die Ausbesserung von Schäden, Prüfung der Bohrmaschinen usw. Eine große Brücke über die Reuß diente bei Göschenen zur Verbindung mit dem Zufahrtswege. Nach Fertigstellung des Tunnels wurden die beiden Maschinenanlagen mit Zubehör wieder beseitigt.

Am großen Arlbergtunnel hatte man ähnliche ausgedehnte Maschinenanlagen für die Tunnelarbeiten geschaffen, nur wurde auf der einen Seite Druckluft wie am Gotthard, auf der anderen Druckwasser benutzt, um die Bohrmaschinen usw. in Bewegung zu setzen. Auf beiden Seiten des Herbst 1898 in Angriff genommenen und am 24. Februar 1905 durchschlagenen Simplontunnels sind großartige Maschinenanlagen geschaffen. Ihre Ausdehnung erhellt schon aus dem Umstande, daß anfangs insgesamt 4400, später 3500 Pferdestärken durch Turbinen für Beleuchtung, Lüftung, Bohr-, Pump-

*) Tyndall: „No greater genius than Robert Mayer has appeared in our century". Vgl. Weyrauch, Robert Mayer, der Entdecker des Prinzips von der Erhaltung der Energie 1890.

und andere Arbeitszwecke nutzbar gemacht wurden, wohl das Höchste, das bisher im Tunnelbau geleistet worden ist. Die teils in Beton, teils in Eisen hergestellten beiden Wasserzuleitungen aus der Rhone bei Brig und der Diveria bei Iselle haben eine Gesamtlänge von rund 9 km, vergl. S. 75.

Bei der jetzt im Bau befindlichen Jungfraubahn setzt man die in einer Turbinenanlage aus der weißen Lütschine unten im Tal bei Lauterbrunnen gewonnene Energie durch Dynamomaschinen in Elektrizität um, die auch zum Betriebe der Bahn dient. Eine 1350 m lange und 1,8 m weite Röhrenleitung liefert das Druckwasser für die Turbinen, die bis 2650 Pferdestärken nutzbar machen können. Der mit 7000 Volt Spannung erzeugte Drehstrom wird mittels dreier Kupferdrähte nach je einer bei den verschiedenen Bahnstationen*) angelegten Transformatorstation geleitet. Sie liefert sowohl den Betriebsstrom für die Züge, als auch während der Tunnelarbeiten für die elektrischen Bohrmaschinen, den Ventilator zum Lüften des Tunnels nach den Sprengungen, sowie für die Glühlampen im Tunnel und an der Arbeitsstätte vor Ort. Ebenso dient der elektrische Strom zum Betriebe einer am Eigergletscher errichteten Maschinenwerkstätte, zum Schmelzen des Eises für Wassergewinnung, zum Kochen usw. So sehen wir an der Jungfrau die Energie ihres Gletscherwassers aus dem Tal zurückgeleitet nach der Gletscherhöhe, um hier im Dienst der Menschen nützliche Arbeit aller Art zu verrichten.

Die Leistungsfähigkeit einer Bahn, ihre Betriebsart und ihr Charakter hängen wesentlich von der Wahl ihrer Steigungsverhältnisse ab; diese beeinflussen stark ihre Anlage- und Betriebskosten, also die Wirtschaftlichkeit und damit die Lebensfähigkeit der Anlage.

Je steiler die Bahn gebaut werden kann, desto kürzer fällt im allgemeinen ihre Länge aus und um so kleiner das Anlagekapital; aber desto unwirtschaftlicher stellt sich der Betrieb. Man wird deshalb, wie schon eingangs kurz angedeutet, unter den verschiedenen möglichen Linien diejenige wählen, bei der unter gleicher Wahrung der Verkehrsverhältnisse die Zinsen der Anlagekosten mit den jährlichen Betriebs- und Unterhaltungskosten zusammen möglichst klein werden.

Um aber den großen Einfluß der Steigungsverhältnisse erkennen zu können, bedarf es einer Erörterung der Grundlagen des Eisenbahnwesens, d. i. der Klarlegung der Wechselwirkung zwischen Rad und Schiene, sowie der bei der Beförderung der Fahrzeuge und Züge auftretenden Bewegungswiderstände und der zu ihrer Überwindung erforderlichen Zugkraft. Hieraus wird man dann auch ohne weiteres die hohe wirtschaftliche Überlegenheit der Eisenbahnen gegenüber anderen Transportstraßen erkennen, sowie die Bedingungen ersehen, die die Anlage einer gewöhnlichen Gleisbahn mit glatten Schienen — Adhäsions- oder Reibungsbahn genannt — gestatten oder aber zum Bau einer Zahnbahn oder zur Seilbahn führen.

2. Bewegungswiderstände der Eisenbahnzüge.

A. Auf gerader, wagerechter Strecke (Laufwiderstand).

Ein auf gerader, wagerechter Strecke gleichförmig sich bewegendes Fahrzeug hat dreierlei Widerstände zu überwinden:

a) die rollende Reibung zwischen Radumfang und Fahrbahn, d. i. der Rollwiderstand,

*) Kleine Scheidegg 2064 m über Meer, Eigergletscher 2323 m ü. M., Eigerwand 2868 m ü. M., Eismeer 3161 m ü. M.

b) die gleitende Reibung der Radachsen in ihren Lagern, d. i. die Zapfenreibung,

c) den Luftwiderstand.

Die beiden Reibungswerte bilden den Eigenwiderstand, alle drei Größen den Laufwiderstand des Fahrzeuges.

α) Eigenwiderstand.

Er hängt ab sowohl von der Beschaffenheit der Fahrbahn als auch von der des Fahrzeuges. Er ist um so kleiner, je ebener und härter jene ist, je größer die Räder und je glatter und besser gefettet*) die Achs- oder Radzapfen sind.

Man kann ihn für mittlere Verhältnisse als einen Bruchteil vom Gesamtgewicht des Fahrzeuges einschl. dessen Belastung (Nutzlast) ausdrücken. Diese Bruchzahl heißt die Widerstandsziffer; sie werde mit f bezeichnet. Wiegt nun der Wagen mit seiner Nutzlast Q-Kilogramm, so ist sein Eigenwiderstand $= f\,Q$; ebenso groß ist auch die Kraft (P) zum gleichmäßigen Fortbewegen des Fahrzeuges auf gerader wagerechter Strecke, und zwar bei Windstille oder sehr schwach bewegter Luft. Es ist also

$$P = f \times Q.$$

Je kleiner hiernach f ist, eine desto größere Last Q kann durch dieselbe Zugkraft P befördert werden. f fällt für die verschiedenen Fahrbahnen und deren Beschaffenheit sehr ungleich aus. Man kann bei Wagen im allgemeinen als Durchschnittswert von f rechnen für:

schlechte Erdwege	$^1/_5$
mittelgute	$^1/_{10}$
gute	$^1/_{20}$
makadamisierte Landstraßen	$^1/_{40}$—$^1/_{50}$
Asphaltbahn	$^1/_{50}$—$^1/_{60}$
gutes Steinpflaster	$^1/_{60}$—$^1/_{75}$
Straßenbahnen	$^1/_{125}$—$^1/_{250}$
Eisenbahnen	$^1/_{400}$—$^1/_{600}$

Auf gutem Steinpflaster läßt sich hiernach mit derselben Zugkraft etwa das dreifache befördern wie auf guten Erdwegen, auf Straßenbahnen das zehn bis zwölffache und auf Eisenbahnen gar das 25fache. Diese Zahlen verdeutlichen so recht den Fortschritt, der im Laufe der Zeiten im Verkehrswesen gemacht ist. Sie begründen überzeugend die in der Einleitung geschilderte Tatsache, daß man in Deutschland, Österreich und England schon frühzeitig für den Kohlentransport die Eisenspur mit Pferdebetrieb wählte und sie anfangs des 19. Jahrhunderts auch auf die Güter- und dann auf die Personenbeförderung ausdehnte. Sie zeigen ferner schlagend die Überlegenheit der heutigen Eisenbahnen über alle anderen Fahrbahnen.

Bei Eisenbahnen kommt zu dem Eigenwiderstande der Wagen noch der der Lokomotive hinzu, der naturgemäß wesentlich größer ist. Kann jener je nach der Bauart der Wagen zu durchschnittlich 1,5 bis 2,5 kg für die Tonne (= 1000 kg) Wagengewicht angenommen werden, so muß er bei Lokomotiven**) gleich 3 bis 4 kg/t angesetzt werden.

Auf gegebener Bahn ist also der Eigenwiderstand eines Zuges ein bestimmter Zahlwert, kann daher allgemein $= a$ gesetzt werden.

---

*) Auf den preußischen Staatsbahnen belaufen sich die jährlichen Unkosten für Schmiermaterialien auf nahezu 4 Millionen Mark.

**) Vgl. die Versuche von Dr. Hefft im Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1906, S. 49.

β) Luftwiderstand.

Bei schneller Fahrt treten zwischen den Fahrzeugen und Schienen in senkrechter wie wagerechter Richtung Stoßwirkungen auf. Erstere rühren von den Unebenheiten der Bahn her; letztere stellen die sog. Schlingerbewegungen dar. Diese Stoßwirkungen wachsen mit dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit. Die dadurch eintretende Vermehrung des Laufwiderstandes ist jedoch klein im Vergleich zum Luftwiderstande, der gleichfalls mit dem Quadrat*) der Geschwindigkeit zunimmt. Die Stoßwirkungen und den Luftwiderstand faßt man bei ihrer Berechnung zusammen und kennzeichnet ihren Zahlwert durch den Ausdruck bV^2, worin V die Fahrgeschwindigkeit und b eine von der Form und Größe der Fahrzeuge abhängige Konstante bedeutet. Der Laufwiderstand ($= l$) eines einzelnen Fahrzeuges oder eines ganzen Zuges drückt sich hiernach allgemein durch die Gleichung aus:

$$l = a + bV^2.$$

Der Einfluß der Größe V^2 ist ein schwerwiegender.

Beispielsweise ist auf gerader, wagerechter Gleisstrecke und bei Windstille oder höchstens sehr mäßig bewegter Luft der Widerstand eines mit etwa 10 km Stundengeschwindigkeit fahrenden zweiachsigen Personenwagens $^1/_{550}$ seines Gewichtes; der Luftwiderstand ist hierbei winzig klein. Wird derselbe Wagen aber unter sonst gleichen Verhältnissen mit 100 km in der Stunde gefahren, so ist nach neueren Versuchen dazu eine Zugkraft von etwa $^1/_{135}$ seines Gewichtes erforderlich. Die letztere ist also allein durch den Luftwiderstand nahezu vervierfacht. Der Widerstand fahrender Lokomotiven ist infolge ihrer Bauart und der großen dem Luftdruck ausgesetzten Fläche wesentlich höher, als derjenige der Wagen. Er beträgt auf gerader, wagerechter Strecke bei mäßiger Geschwindigkeit (bis etwa 10 km in der Stunde) und Windstille rund $^1/_{300}$ des Lokomotivgewichtes, wächst schnell mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit und beträgt bei 100 km Fahrt in der Stunde ungefähr $^1/_{75}$, das ist das 4fache des ersteren Wertes und schon so viel, wie der Widerstand eines gleichschweren Wagens, der auf gepflasterter Straße sich bewegt! Dieser große Einfluß des Luftwiderstandes ist bei den jetzigen großen Fahrgeschwindigkeiten gegen früher um so empfindlicher geworden. Der französische Ingenieur Ricour stellte hierüber anfangs der achtziger Jahre besondere Versuche an.**) Er fand nach Anbringung einer Schnabelvorrichtung an der Vorderseite der Lokomotive und Zuschärfung ihres Führerhauses (zwecks leichteren Durchschneidens der Luft) den Widerstand merklich gemindert, was sich in Kohlenersparnissen sichtbar ausdrückte und auch durch „Schnabellokomotiven“ anderer Länder bestätigt wurde. In Frankreich sind zurzeit auf der Staatsbahn die neueren Schnellzuglokomotiven nach Abb. 10 allgemein mit solchen Luftschneiden vor der Rauchkammer und dem Führerhause ausgerüstet; ebenso hat die Nordbahn und die Paris-Lyon-Mittelmeerbahn, letztere seit 1895, Schnabellokomotiven in Dienst genommen. Auch in Deutschland wurden damit Versuche angestellt. Die neueren Schnellzuglokomotiven der badischen Staatsbahnen, desgleichen die der pfälzischen Bahnen, sind mit Luftschneiden ausgerüstet, ferner die der Bagdadbahn usw., vgl. Abb. 209 und 271—275.

Über den Eigen- und Luftwiderstand der Lokomotiven und Wagen sind seit den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts zahlreiche und

*) Vergl. A. Frank, Versuche zur Ermittelung des Luftwiderstandes. Annalen der Physik 1905, S. 464; dgl. in Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1906, Bd. 1, S. 593; ferner Denninghoff in Glasers Annalen 1906, Bd. 1, S. 223.

**) Vergl. Revue Générale des ch. d. f. 1886, Bd. II, S. 209.

umfassende Versuche in den verschiedenen Eisenbahnländern angestellt worden. Ihre Ergebnisse*) weichen naturgemäß sämtlich voneinander ab; denn sie werden beeinflußt durch den jeweiligen Zustand des Oberbaues, durch die Bauart der Fahrzeuge (lange und schwere oder kurze und leichte Wagen, steife Achsen, Lenkachsen, Drehgestelle usw.), durch die Art der Schmierung der Achslager und durch die Witterung. Gegen- und Seitenwind z. B. erhöhen den Laufwiderstand, desgleichen große Kälte, da dann die Schmiermittel schlechter wirken. Zuerst sind diese Verhältnisse durch Clark**) untersucht und geklärt worden; am eingehendsten neuzeitlich durch Prof. A. Frank***), der auch nachwies, daß die Bauart und Gruppierung der Wagen von Einfluß auf die Größe des Luftwiderstandes ist. Beispielsweise ist letzterer größer bei einem Zuge, in dem bedeckte und offene Wagen in bunter Reihe abwechseln, als wenn jener nur aus bedeckten Wagen zusammengesetzt ist; ebenso fällt er größer aus, wenn die offenen

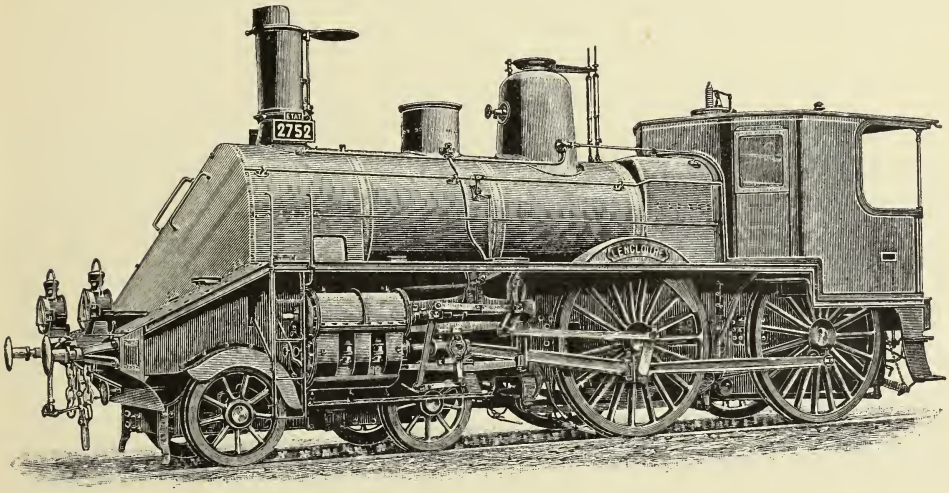


Abb. 10. Schnabellokomotive der französischen Staatsbahn.

Wagen leer mitlaufen, als wenn sie alle beladen sind usw. Später haben namentlich die Franzosen Desdouits†) und Barbier††) umfangreiche Versuche angestellt. Ihre Ergebnisgleichungen führen zu höheren Werten als die von Frank. Empfehlenswert ist es, die Laufwiderstände der Lokomotiven und Wagen getrennt zu berechnen.

Für Überschlagsberechnungen, z. B. zwecks Ermittelung der weiter unten erörterten „maßgebenden“ Steigung, der Lokomotivleistung usw.

*) Eine übersichtliche Zusammenstellung davon gibt Gostkowski, in „Mechanik des Zugverkehrs 1891“, S. 87; dgl. Aspinall (La Résistance des Trains) im Bulletin du Congrès international des chemins de fer 1903, S. 188—233 und 297—341. Die älteren Regeln zur Bestimmung des Laufwiderstandes liefern für die heutigen Eisenbahnverhältnisse zu hohe Werte.

**) Clark, „Railway Machinery“, 1855, S. 297.

***) Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1883 und 1885, S. 165; desgl. 1886, S. 201; 1888, S. 106; 1898, S. 146; 1899, S. 161. Derselbe: Die Widerstände der Lokomotiven und Bahnzüge 1886; dgl. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1903, S. 460 und 1904, S. 46.

†) Revue Générale des chemins de fer, 1890, S. 271; desgl. 1898, S. 169.

††) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1898, S. 1191; Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1900, S. 25.

kann man den Laufwiderstand (in der geraden, wagerechten Strecke) nach einer für den ganzen Zug (einschl. Lokomotive) gültigen Gleichung ermitteln. Gute Annäherungswerte für Züge üblicher Zusammensetzung liefern die Gleichungen*):

a) Güterzüge und gewöhnliche Personenzüge (zweiachsige Wagen)

$$w = 2{,}4 + \frac{V^2}{1300}.$$

b) Schnellzüge (Drehgestellwagen mit Faltenbälgen)

$$w = 2{,}4 + \frac{V^2}{2300}.$$

Hierin bedeutet: w den Widerstand in kg bezogen auf 1 t Zuggewicht, V die Fahrgeschwindigkeit in km/st [Gleichung b) auf S. 36 ist hiernach zu berichtigen].

Beispiel: Ein D-Zug von 80 t Lokomotiv- und 200 t Wagengewicht fährt mit 75 km Stundengeschwindigkeit. Sein Laufwiderstand ist

$$w = 2{,}4 + \frac{75^2}{2300} = 2{,}4 + 2{,}45 = 4{,}85 \text{ kg/t},$$

$$W = (80 + 200) \cdot 4{,}85 = 280 \cdot 4{,}85 = 1358 \text{ kg}.$$

In den beiden letzten Gleichungen a) und b) spiegelt sich so recht der günstige Einfluß langer schwerer Wagen mit gut gelagerten und geschmierten Achsen (Drehgestellen) gegenüber den kurzen leichten Wagen wieder. Ihr geringerer Luftwiderstand rührt davon her, daß bei ihnen weniger Wagenstirnflächen im Zuge vorhanden sind. Sind diese Wagen gar durch Faltenbälge miteinander verbunden (D-Züge), so kommt vornehmlich die vorderste Stirnwand zur Geltung (Gleichung b). Recht kurze Abstände zwischen den einzelnen Wagen eines Zuges (ohne Faltenbälge) mindern gleichfalls den Luftwiderstand herab, wie Ricour durch Versuche auf der französischen Staatsbahn nachgewiesen hat.**) Nach dieser Richtung verhalten sich Personenwagen mit Plattformen vor den Stirnenden am ungünstigsten. Seiten- oder Gegenwind erhöht den Laufwiderstand.

B. Auf gekrümmter Strecke (Krümmungswiderstand).

Der „Krümmungswiderstand" ist naturgemäß um so größer, je schärfer die Gleise gekrümmt und je länger die Fahrzeuge gebaut sind, je weniger Sorgfalt ferner auf eine gewisse Beweglichkeit der Radachsen gelegt ist. Wagen mit Lenkachsen z. B. oder gar mit Drehgestellen schmiegen sich den Gleisbogen leichter an als Wagen mit sogen. steifen Achsen.

Zur Ermittelung des Kurvenwiderstandes sind zahlreiche Versuche***) in den verschiedenen Eisenbahnländern angestellt worden. Die für Haupt-

*) Die Frankschen Näherungsformeln lauten:
a) für Lokomotive mit Tender (einschl. einer Wagenvorderfläche)
$$w_1 = 2{,}5 + 0{,}0008\, V^2$$
b) für den Wagenzug aus je q-t schweren Personenwagen
$$w_2 = 2{,}5 + \left(\frac{0{,}3}{q} + 0{,}014\right)\frac{V^2}{100}$$
c) für den Wagenzug aus beladenen offenen Güterwagen
$$w_3 = 2{,}5 + 0{,}00027\, V^2$$
d) für den Güterwagenzug beliebiger Zusammensetzung
$$w_4 = 2{,}5 + 0{,}0005\, V^2.$$

**) Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1887, S. 171.

***) Vergl. u. a. v. Röckl, „Zeitschrift für Baukunde", 1880, S. 542; desgl. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1881, S. 261; Hoffmann, ebd. 1885, S. 204; Boedeker, Zeitschrift des hannov. Architekten und Ingenieur-Vereins, 1887, S. 406; A. Frank, Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1892, S. 55.

bahnen viel benutzte Röcklsche Widerstandsgleichung lautet:

$$k = \frac{650}{R - 55},$$

worin k den Kurvenwiderstand in kg bezeichnet, den 1 t (= 1000 kg) Zuggewicht in einer Gleiskrümmung von RMeter Halbmesser erzeugt.

Beispiel: Für eine 300 m-Krümmung, also R = 300, berechnet sich hiernach

$$k \text{ zu } \frac{650}{300 - 55} = \frac{650}{245} = 2{,}65 \text{ kg/t}.$$

Für Halbmesser unter 100 m ist die Röcklsche Formel nicht geprüft; im übrigen liefert sie natürlich nur Annäherungswerte.

Für Nebenbahnen ist die Widerstandsgleichung jener nachgebildet, liefert daher ebenfalls nur Annäherungswerte. Sie lautet:

Spurweite 1435 mm, Krümmungswiderstand $k = \frac{500}{R - 30}$

„ 1000 „ „ $k = \frac{400}{R - 20}$

„ 750 „ „ $k = \frac{350}{R - 10}$

„ 600 „ „ $k = \frac{200}{R - 5}$

C. Auf ansteigender Strecke (Steigungswiderstand).

Die Steigung einer Bahn drückt man entweder als echten Bruch ($^1/_{100}$) oder als Verhältniszahl (1 : 100) oder aber in Tausendsteln der Länge ($10\,^0/_{00}$) aus; in Frankreich ist die Dezimalbruchform (0,010) beliebt, in Amerika die Bezeichnung in Hundertteilen ($1\,^0/_0$).

Zweckmäßig ist die Bezeichnug in Tausendsteln der Länge. z. B. $s\,^0/_{00}$, da dann auch die Zahl s nach einem bekannten Lehrsatz der Mechanik die Kraft angibt, die für jede Tonne Zuggewicht zum Hinaufziehen des Zuges und zwar ohne Berücksichtigung des Laufwiderstandes, also lediglich zur Überwindung der Schwerkraft, notwendig ist. Wiegt also ein Fahrzeug G-t, so bedarf es, um auf die Höhe s (vergl. Abb. 11) befördert zu werden, außer der Kraft für die Überwindung des Laufwiderstandes noch einer Zusatzkraft

$$P = sG.$$

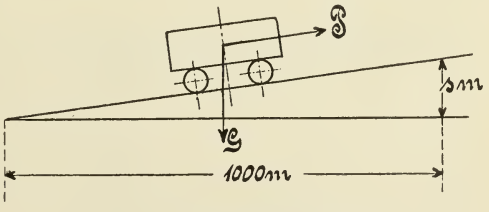


Abb. 11. Steigungswiderstand.

s heißt der Steigungswiderstand für 1 t Zuggewicht.

Beispiel: Um einen Wagen von 15 t Gewicht über eine Steigung von $20\,^0/_{00}$ zu befördern, ist eine Zusatzkraft $P = 20 \cdot 15 = 300$ kg nötig. Soll derselbe Wagen über eine Steigung von $200\,^0/_{00}$ gefahren werden, so ist ein Steigungswiderstand $P = 200 \cdot 15 = 3000$ kg zu überwinden.

Summieren wir nun die Einzelwiderstände A) bis C), so ergibt sich allgemein als Widerstand des Zuges in kg für 1 t Zuggewicht auf gekrümmter, ansteigender Strecke:

$$\text{I)} \quad w = a + bV^2 + k + s.$$

Für bestimmte Züge wird w zufolge der auf S. 34 gegebenen Gleichungen des Laufwiderstandes:

a) Güterzüge (zweiachsige Wagen)

$$w = 2{,}4 + \frac{V^2}{1300} + \frac{650}{R - 55} + s,$$

b) Schnellzüge (D-Wagen)

$$w = 2{,}2 + \frac{V^2}{1800} + \frac{650}{R - 55} + s.$$

Wiegt nun der Zug einschl. Lokomotive G Tonnen, so ist sein gesamter Widerstand in kg:

$$\text{Ia)} \quad W_{kg} = G_t \cdot w = G_t \, (a + bV^2 + k + s).$$

Diesem Werte muß die maßgebende Zugkraft Z der Lokomotive entsprechen; d. g.

$$\text{II)} \quad Z_{kg} = W_{kg} = G_t \, (a + bV^2 + k + s).$$

Diese Gleichung gestattet nun, die Wagenlasten, also auch die Anzahl der Wagen, zu berechnen, die eine gegebene Lokomotive bei bestimmter Geschwindigkeit über eine gewisse Bahnstrecke zu befördern vermag. Setzen wir der Einfachheit wegen eine geradlinige Strecke voraus, für die also $k = o$ wird, so geht Gleichung II für Güterzüge über in:

$$Z_{kg} = G_t \, (2{,}4 + \frac{V^2}{1300} + s).$$

Für ein bestimmtes V und eine gegebene Steigung s ergibt sich hieraus:

Nutzlast = G weniger Lokomotivgewicht.

Beispiel: Die mit Tender 66 t schwere dreiachsige Güterzuglokomotive (mit Zwillingswirkung) der preußischen Staatsbahnen hat gemäß der im Abschnitt „Lokomotiven“ angegebenen Berechnung eine maßgebende Zugkraft von 5800 kg bei 15 km/st Fahrgeschwindigkeit und eine solche von 3915 kg bei $V = 30$ km/st.

Hierfür berechnen sich mittels der letzten Gleichung folgende Wagenlasten*) in Tonnen, da diese Lokomotive auf verschiedenen Steigungen zu ziehen vermag:

	$V = 15$ km/st	$V = 30$ km/st
Auf gerader, wagerechter Strecke	2258 t	1197 t
„ „ Steigung von $2\,‰ = 1:500$ . .	1202 „	701 „
„ „ „ „ $5\,‰ = 1:200$ . .	700 „	417 „
„ „ „ „ $10\,‰ = 1:100$ . .	395 „	233 „
„ „ „ „ $25\,‰ = 1:40$ . .	144 „	73 „
„ „ „ „ $56\,‰ = 1:178$ . .	33 „	0 „
„ „ „ „ $84\,‰ = 1:12$ . .	0 „	— „

Mit wachsender Steigung nehmen hiernach die bei gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit von der Lokomotive beförderten Wagenlasten schnell

*) Sie stehen in guter Übereinstimmung mit den seinerzeit auf den preußischen Staatsbahnen durch Versuche ermittelten Lasten; denn diese sind (vgl. Abb. 123):

	Bei einer Fahrgeschwindigkeit von $V = 15$ km/st	$V = 30$ km/st
Auf gerader Steigung von $2\,‰ = 1:500$	1195 t	685 t
„ „ „ „ $5\,‰ = 1:200$	697 „	415 „
„ „ „ „ $10\,‰ = 1:100$	394 „	235 „
„ „ „ „ $25\,‰ = 1:40$	144 „	74 „

Das Franksche Rechnungsverfahren liefert für $V = 30$ km/st und $s = 2\,‰$, im Mittel 713 t.

ab. Von einer bestimmten Steigung an kann jene keinerlei Nutzlast mehr ziehen, sondern nur noch sich selbst hinaufbewegen, darüber hinaus hört natürlich auch letzteres auf. Diese Nutzgrenze liegt für die vorgenannte Lokomotive bei $84\,^0/_{00}$ für 15 km stündlicher Geschwindigkeit und schon bei $56\,^0/_{00}$ für $V = 30$ km/st.

Starke Steigungen sind somit für den Eisenbahnbetrieb nachteilig, weil unwirtschaftlich. Sie verlangen besonders leistungsfähige Lokomotiven, deren Brennstoffverbrauch im Verhältnis zur beförderten Transportmenge groß ausfällt. Zudem können die Züge im allgemeinen doch nicht so lang sein wie auf schwach geneigten Linien und können nicht mit gleicher Geschwindigkeit gefahren werden. Zum Befördern bestimmter Güter- und Truppenmassen sind sonach mehr Züge zu fahren, was die Betriebskosten erhöht und ausgedehntere Anlagen für das Unterbringen und die Ausbesserung der Lokomotiven notwendig macht. Diesen Nachteilen starker Steigung steht allerdings der Vorteil gegenüber, daß durch sie die Linie verkürzt wird.

Bei Wahl einer schwächeren Steigung sinken die Betriebskosten, aber die Anlagekosten werden infolge der größeren Länge höher. Die wirtschaftlich zweckmäßigste Steigung ausfindig zu machen, ist eine Hauptaufgabe der Vorarbeiten. Es genüge hier anzuführen, daß im allgemeinen bei Bahnen mit starkem Verkehr mehr auf Ermäßigung der unmittelbaren Betriebskosten als des Anlagekapitals zu halten ist, während Bahnen mit schwachem Verkehr nur geringe Anlagekosten vertragen, dagegen wohl etwas höhere unmittelbare Betriebskosten.

Beim Entwurf einer Bahnlinie macht man nun in der Regel die Annahme, daß auf jener Züge von bestimmter Länge und Schwere durch Lokomotiven von gegebener Zugkraft mit einer bestimmten Geschwindigkeit gefahren werden sollen. Damit ist dann aber die größte Steigung festgelegt, die der Linie gegeben werden darf; denn nunmehr sind in der Gleichung

$$Z = G\,(a + bV^2 + k + s)$$

die Größen Z, G und $a + bV^2$ festgelegt, folglich ist es auch $k + s$; denn

$$\text{III)}\quad k + s = \frac{Z}{G} - (a + bV^2).$$

Diese Summe $k + s$ = Krümmungswiderstand plus Steigungswiderstand nennt man die maßgebende Steigung der Bahnlinie. Wird sie mit s_m bezeichnet, so ist für ein bestimmtes Z, G und V

$$s_m = k + s = \text{const.}$$

Hieraus ergibt sich ohne weiteres, daß bei Wahl größerer k-Werte, also schärferer Gleiskrümmungen, kleinere Steigungen zugelassen werden müssen, um umgekehrt bei größeren Steigungen flachere Gleisbogen; der Grenzwert s_m darf nicht überschritten werden.

Für die Ermittelung der maßgebenden Steigung kommen in erster Linie die Güterzüge in Frage, zuweilen auch die Militärzüge, seltener die leichteren Personenzüge.

Beispiel: Die Steigungsstrecken einer zu erbauenden Bahn sollen durch Güterzüge bis zu 430 t Gewicht (ausschließlich Lokomotive) und mit 18 km/st Geschwindigkeit befahren werden. Welche größte (maßgebende) Steigung darf gegeben werden bei Verwendung der vorgenannten preußischen Güterzuglokomotive, deren maßgebende Zugkraft bei $V = 18$ km nach S. 124 und 133 5250 kg beträgt?

Es ist

$$Z = W = \left[2{,}4 + \frac{V^2}{1300} + s_m\right] G$$

oder

$$5250 = \left(2{,}4 + \frac{18^2}{1300} + s_m\right)(430 + 66)$$

$$s_m = \frac{5250}{496} - \left(2{,}4 + \frac{18^2}{1300}\right) = 10{,}6 - 2{,}6$$

$$s_m = 8\,‰ = 1 : 125.$$

Auf gerader Strecke darf sonach die Steigung höchstens 8‰ sein. Kommen Gleiskrümmungen vor, so ist diese um den Widerstand k zu ermäßigen, z. B. für $R = 300$ m um

$$k = \frac{650}{300 - 55} = 2{,}6$$

d. h. die größte Steigung darf in solcher Krümmung nur

$$s = s_m - k = 8 - 2{,}6 = 5{,}4\,‰ = 1 : 185$$

sein. Wird die Linie in dieser Weise gebaut, so ist ihr Zugwiderstand auf gerader wie gekrümmter Steigung gleichbleibend, also auch die Lokomotivleistung, die hier voll, also wirtschaftlich ausgenutzt wird. Da bei ungünstiger Witterung der Laufwiderstand wächst, wird man übrigens diese Rechnungswerte von s für die Ausführung etwas verringern.

Beispiel: Die 136 m lange und 65 m über der Flußsohle des Landwassers liegende Talbrücke in der mit 25‰ ansteigenden Bergstrecke Alvaneu-Filisur der Albulabahn (Meterspur) liegt in einer Krümmung von 100 m, die nach S. 35 einen Widerstand $k = \frac{400}{R - 20} = 5$ kg erzeugt. Zwecks Ausgleichs ist das Steigungsverhältnis auf dieser Brücke von 25‰ auf 20‰ ermäßigt worden, vgl. S. 71.

Eine Ermäßigung der Steigung kann auch in der Geraden notwendig werden, wenn diese im Tunnel liegt. Hier mindert die Feuchtigkeit die Schienenreibung, vergl. S. 128, was zu einer flacheren Steigung zwingt. So ist z. B. auf der Gotthardbahn die Steigung von 25 und 26‰ in verschiedenen Tunneln auf 22 und 23‰ ermäßigt worden, ferner im 8,3 km langen Ronco-Tunnel der neuen Giovi-Linie Genua-Ronco von 16‰ auf 11,65‰ und neuerdings auf der Albulabahn (Strecke Filisur-Preda) von 35‰ auf 30‰.

Der bei der Bergfahrt durch die Schwerkraft bedingte Mehraufwand an Zugkraft kommt nun bei der Talfahrt dieser wieder zugute, denn hierbei wird nach der Lehre der Mechanik s negativ, also

$$Z_1 = W_1 = G(a + bV^2 + k - s).$$

Ist demnach die Zugkraft bei der Fahrt bergauf um s-kg/t größer als auf wagerechter Strecke, so ist sie bei der Fahrt bergab um ebensoviel kleiner.

Nun ist aber von einem bestimmten Neigungsverhältnis an aufwärts der Wert von s größer als der Laufwiderstand. Beispielsweise berechnet sich letzterer für die gerade Strecke und Güterzüge mit 30 km/st Fahrgeschwindigkeit aus $w = 2{,}4 + \frac{V^2}{1300}$ zu $2{,}4 + \frac{30^2}{1300} = 3{,}1$ kg für die Tonne Zuggewicht; s ist also für diese Züge und die gerade Bahn schon von etwa 3,3‰ = 1 : 300 an größer als der gesamte Laufwiderstand. Auf stärker geneigter Bahn würde daher die den Zug abwärts treibende Kraft, d. i.

$$K = Gs - G(a + bV^2 + k)$$

jenen bald in eine gefahrdrohende Geschwindigkeit versetzen. Es ist deshalb hier erforderlich, den Überschuß des im Zuge angehäuften Arbeitsvermögens (lebendige Kraft) durch Bremsen zu vernichten, damit der Zug mit tunlichst gleichförmiger Geschwindigkeit zu Tal rollt. Ein hervorragendes europäisches Beispiel hierfür bietet die Gotthardbahn, deren talabwärts fahrende Züge auf der 29 km langen Neigungsstrecke Göschenen-Erstfeld ($s = 25$ und $26\,‰$), ebenso auf der 39 km langen Südrampe Airolo-Bodio ($s = 25$ bis $27\,‰$) kräftig gebremst werden müssen.

Die Bremswirkung ist nun aber eine begrenzte, vergl. Abschnitt „Bremsen". Damit sie stets genügend zur Geltung kommt, die Talfahrt sichert und den Zug erforderlichenfalls auch im Gefälle zum Halten bringt, darf die Bahnneigung nicht über eine gewisse Grenze hinausgehen. Dieser Gesichtspunkt ist namentlich bei Festlegung des Neigungsverhältnisses für Steilbahnen (Zahn- oder Seilbahnen) zu beachten.

Der Grenzfall, wo der gleichförmig zu Tal rollende Zug weder Dampf- noch Bremsarbeit erfordert, ergibt sich aus der letzten Gleichung durch

$$\text{a)}\quad s = a + bV^2 + k.$$

Man bezeichnet diese Neigung, bei der gerade Gleichgewicht herrscht, wohl als Bremsgefälle oder Bremsneigung. Die Beziehung

$$\text{b)}\quad s > a + bV^2 + k$$

bedingt hiernach Bremsarbeit, dagegen erfordert

$$\text{c)}\quad s < a + bV^2 + k$$

Dampfarbeit auch bei der Talfahrt.

Diejenigen Neigungen, auf denen bei der Talfahrt nicht gebremst zu werden braucht — vergl. a) und c) — nennt man „unschädliche" Neigungen, im Gegensatz zu den steileren „schädlichen" Neigungen des Ausdruckes b).

Auf den unschädlichen Neigungen wird das, was bei der Bergfahrt an Zugkraft verloren geht ($= s$ kg/t), bei der Talfahrt wiedergewonnen, vorausgesetzt, daß die Züge in beiden Richtungen gleich schwer sind. Jene erfordern aber zum Durchfahren ihrer Krümmungen in jeder der beiden Richtungen einen Mehrbetrag an Dampfarbeit, dahingegen ist ein solcher auf schädlicher Neigung nur bei der Bergfahrt aufzuwenden, auf der Talfahrt kann auch der Krümmungswiderstand aus dem Überschuß des s-Wertes bestritten werden. Aus diesem Grunde darf auch eine gekrümmte Gefällstrecke mit stärkerer Neigung angelegt werden als eine gerade Linie, für die die Bremsneigung schon bei $s = a + bV^2$ erreicht wird.

Bei Gebirgsbahnen fällt die Bremsneigung wohl stets kleiner aus als die maßgebende Steigung, man kann daher auch bei ihnen ohne weiteres zahlreichere und schärfere Gleiskrümmungen zulassen als bei Flachlandbahnen.

3. Krümmungs- und Steigungsverhältnisse ausgeführter Bahnen.

A. Krümmungen.

Im Flachlande kann man den Krümmungshalbmesser erheblich größer wählen als im Gebirge, wo man durch die anzufahrenden Gesteinsmassen der Bergfalten und Talkrümmungen oft recht beengt ist. Im allgemeinen nimmt man ihn bei vollspurigen Hauptbahnen

im	Flachlande	nicht	gern	unter	1000 m,
„	Hügellande	„	„	„	600 „
„	Gebirge	„	„	„	300 „

Häufig ist man jedoch gezwungen, namentlich im Flachlande, ihn wesentlich kleiner als vorstehend zu wählen. Die englischen Bahnen weisen durchschnittlich auf freier Bahn, also außerhalb der Stationen, flachere Gleisbogen auf, als die anderen Länder, was natürlich ihre Anlagekosten erhöht, aber ihre Betriebskosten ermäßigt und höhere Fahrgeschwindigkeiten bei großer Betriebssicherheit ermöglicht.

Für die deutschen Bahnen ist betreffs der zulässig kleinsten Krümmungshalbmesser folgendes durch die Bau- und Betriebsordnung (§ 7) vorgeschrieben:

a) Hauptbahnen. 1. In durchgehenden Hauptgleisen, d. h. in Gleisen, die von geschlossenen Zügen in regelmäßigem Betriebe befahren werden, sind Krümmungen von weniger als 180 m Halbmesser nicht zulässig. 2. Die Anwendung eines Halbmessers unter 300 m auf freier Strecke bedarf der Genehmigung der Landesaufsichtsbehörde und der Zustimmung des Reichs-Eisenbahn-Amtes.

b) Nebenbahnen (vollspurige). Wenn Fahrzeuge der Hauptbahnen übergehen sollen, sind in durchgehenden Hauptgleisen Krümmungen unter 180 m, im übrigen unter 100 m nicht zulässig.

Bei Schmalspurbahnen im Gebiete des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen ist der kleinste Krümmungshalbmesser wie folgt zu wählen:*)

Bei	1000 mm Spur . . .	$R_{min} = 50$ m
„	750 „ „ . . .	„ = 40 „
„	600 „ „ . . .	„ = 25 „

Kleinere R-Werte sind zulässig, wenn die Fahrzeuge zum Befahren solch scharfer Krümmungen besonders eingerichtet sind.

Einige Gebirgsbahnen sind mit folgenden kleinsten Krümmungshalbmessern angelegt:

a) Vollspur.

Mexikanische Südbahn (Veracruz-Mexiko) . . .		99 und 106 m
„ Zentralbahn (Tampico-Mexiko) . .		88 m
Semmeringbahn		190 „
Brennerbahn		285 „
Arlbergbahn		250 „
Tauernbahn		250 „
Gotthardbahn	regelrecht	300 „
	ausnahmsweise	280 „
Bologna-Pistojabahn		300 „
Schwarzwaldbahn		300 „
Strategische Bahn		350 „
Reichenhall-Berchtesgaden		180 „

b) 1 m Spur.

Javanische Staatsbahnen (1,067 m Spur) . . .		150 m
Albulabahn	regelrecht	120 „
	ausnahmsweise	100 „
Landquart-Davos		100 „
Gr. Venezuelabahn La Guaira-Caracas (1,07 m Spur)		90 „
Guayaquil-Quito (1,067 m Spur)	regelrecht . .	30 „ **)
	ausnahmsweise	18 „
Gernrode-Harzgerode		60 „

*) Vergl. „Grundzüge für den Bau und die Betriebseinrichtungen der Lokaleisenbahnen“, 1897.

**) Engineering News 1904, S. 117.

c) 0,60 m Spur.

Festiniogbahn (0,59 cm) . . . . . 35 m
Darjeelingbahn (0,61 cm) (Radstand 1,05 m) . . 18 „ *)

Besonders scharfe Krümmungen finden sich bei vollspurigen Stadtbahnen, z. B.:

Bostoner Untergrundbahn . . . . . R_{min} = 37 m
Pariser Stadtbahn . . . . . „ = 30 „
New Yorker Hochbahnen . . . . . „ = 27 „

Über die in den Krümmungen auszuführende Schienenüberhöhung und Spurerweiterung vergl. Abschnitt „Oberbau".

B. Steigungen.

Je nach der Bedeutung der Bahn für den Verkehr und die Landesverteidigung (vgl. S. 65) sowie je nach den klimatischen Verhältnissen wird man zweckmäßig eine gewisse Steigungsgrenze nicht überschreiten. Sie liegt für die großen verkehrsreichen Hauptlinien bei 25‰ bis allenfalls 30‰ (1 : 40 bis 1 : 33). Ausnahmsweise finden sich auch größere Werte. Es hat z. B. die Semmeringbahn, desgleichen die Brennerbahn bis 25‰, die jetzt im Bau befindliche Tauernbahn bis 26,7‰ die Gotthardbahn und die schweizer Jurabahn bis 27‰, die Mont Cenisbahn und die Arlbergbahn bis 30‰, die französische Südbahn bis 33⅓‰. Die neueren Apenninübergänge sind teils mit 26‰ (Benvenuto-Termoli, Bologna-Pistoja), teils mit 30‰ (Rom-Solmona) und selbst 35‰ (Terni-Aquila) ausgeführt, 35‰ zeigt auch die alte Giovilinie**) auf 2,12 km Länge. Die sechs großen nordamerikanischen Überlandbahnen, die die Felsengebirge, Sierra Nevada usw. in 1612 bis 2514 m Seehöhe***) überschreiten, wie die Canadian, Great Northern, Northern und die Union Pacificbahn, die Atchison, Topeka und Santa Fé-Bahn sowie die Southern Pacificbahn haben mit zwei Ausnahmen sämtlich eine Steigungsgrenze von 22‰. Die beiden Ausnahmen kommen bei der nördlichsten dieser Riesenbahnen, der Canadian Pacific mit 45‰†) auf ihrem bei Stephen (1612 m Seehöhe) beginnenden Abstieg nach dem Stillen Ozean vor, sowie auf der südlichsten Linie, der Southern Pacific, mit 33‰ im Siskiyougebirge (Strecke San Francisco-Portland). Die im Jahre 1872 vollendete mexikanische Südbahn Veracruz-Mexiko ersteigt in 100 km Länge den steilen Hang des Pic de Orizaba mit 25 bis 40‰; letzteren Wert zeigt dabei u. a. eine 20 km lange Rampe. In dieser Steigung kommen auch die oben genannten scharfen Krümmungen (in sechs zusammenhängenden Kehren) vor, was für keine mustergültige Linienführung zeugt. Die etwa

*) Lokomotive und Wagen sind kurvenbeweglich nach Cleminson-Bauart.

**) Auf dieser Rampe werden Güterzüge von 15 beladenen Wagen durch drei Lokomotiven von je 52,9 t Reibungsgewicht befördert.

***) Auf der Tafel S. 76 sind die Hochgebirgsstrecken dreier Pacificbahnen dargestellt. Der höchste Punkt (2514 m ü. M.) liegt auf dem Sherman-Paß (Union-Pacific-Bahn).

†) Auf dieser 4673 km langen Bahn Montreal-Vancouver verkehren Schnellzüge ohne Wagenwechsel, die die Strecke in 125 Stunden durchlaufen. Auf der 45‰-Rampe werden die aus acht Wagen bestehenden Züge durch drei Lokomotiven — je eine an den Zugenden und in der Zugmitte — die 10 bis 12 Wagen langen Schnellzüge sogar durch vier Lokomotiven von je 97 t Gewicht befördert.

Eine noch steilere Rampe findet sich mit 59‰ (= 1:17) mittlerer Steigung auf der Madison-Indianapolis Bahn nahe erstgenannter Stadt. Sie ist 2137 m lang und verläuft — teils auf einem bis 23 m hohen Damm, teils in einem bis 35 m tiefen Einschnitt — geradlinig, da ihr Betrieb anfänglich durch eine stehende Dampfmaschine und Seil geplant war. Im Jahre 1839 eröffnet, wurde sie bis 1848 durch Pferde betrieben, sodann 20 Jahre lang als Zahnbahn und seitdem als Reibungsbahn (mit ⁴/₄-Tenderlokomotiven).

25 Jahre später eröffnete zweite Bahn zwischen denselben Städten, jedoch über Jalapa und die Paßhöhe Las Vigas (2415 m ü. M.) führend, ist mit der Höchststeigung von nur 20‰ angelegt worden, die sich dafür allerdings auch in einer Rampe von 117 km Länge vorfindet; vgl. die Tafel zu S. 76.

Bei den mit Dampf betriebenen Nebenbahnen und Linien mit schwachem Verkehr geht man in der Regel nicht über 40 bis 45‰ hinaus. Ausnahmen kommen natürlich auch hier vielfach vor. Es zeigen unter anderen die Callao-Oroyabahn in Peru (Vollspur), ebenso die Antofagastabahn (76 cm Spur) in Bolivia bis 40‰, desgleichen einige Linien in Colorado; die Darjeelingbahn (61 cm Spur) hat bis 43,5‰, bei ihrer ersten Ausführung sogar 53 und selbst 62,5‰. Die im Jahre 1903 eröffnete Albulabahn (1 m Spur) hat Rampen bis zu 35‰, die Yverdon-St. Croixbahn (Westschweiz) bis 44‰, die Strecke Wädensweil-Einsiedeln (Schweizer Südostbahn, Vollspur) und ebenso Rigi-Scheideck bis 50‰, Rom-Marino (Vollspur) bis 60‰. Sehr starke Steigungen zeigt auch die i. J. 1904 in Betrieb gesetzte Bahnlinie Guyaquil-Quito in Ecuador. In einer 65 km langen Rampe von 30 bis 55‰ ersteigt sie einen Höhenunterschied von 2750 m. In Deutschland sind bei der Vollspurbahn Reichenhall-Berchtesgaden Rampen von 40‰ zugelassen, ebenso bei der 1 m Spurbahn Gernrode-Harzgerode.*) Bei reinen Touristenbahnen hat man in einem Falle sogar 70‰ (1 : 14) gewählt. Es ist dies die Ütlibergbahn bei Zürich (Normalspur), die diese ungewöhnliche Steilrampe in einer Länge von 809 m aufweist. Hier handelt es sich aber nur um leichte Züge, die mit geringer Geschwindigkeit gefahren werden. Auch auf einer vorzugsweise dem Minenverkehr dienenden Gebirgstrecke in Colorado, der der Denver und Rio Grande Bahn angehörigen Zweiglinie Hecla-Calumet, kommt diese Steigung von 70‰ vor, noch dazu in 2700 m Seehöhe. Bei einer französischen mit 1 m Spur angelegten Feldbahn (Tavaux-Pontsericourt) ist sogar eine Steigung von 75‰ (1 : 13⅓) ausgeführt, das Höchste, das bei Bahnen mit Betrieb durch Dampflokomotiven je zugelassen ist.

Bei elektrisch betriebenen Bahnen ist man noch weiter gegangen.**) So besitzt z. B. die im Sommer 1901 eröffnete, das herrliche Chamonixtal

*) Sonstige Steigungen über 25‰ (1 : 40) und auf mehr als 3 km Länge finden sich noch auf folgenden deutschen Bahnstrecken:

Strecke	Neigung ‰	Neigung	Länge der Rampen in m
Brügge-Lüdenscheid	28	1 : 36	4618
Oberrottenbach-Sitzendorf	30⅓	1 : 33	8412
Mörlenbach-U. Waldmichelbach	33⅓	1 : 30	3970
Wiesbaden-Langenschwalbach	33⅓	1 : 30	6613
Grafenthal-Bock	33⅓	1 : 30	9008
Waldenburg-Künzelsau (Württemberg)	37,6	1 : 26,6	3248

**) Beim elektrischen Triebwagen kann die Zugkraft beim Anfahren des Zuges auf das drei- bis vierfache der während der regelrechten Fahrt nötigen Kraft gesteigert werden, was bei Dampflokomotiven bei weitem nicht zu erreichen ist. Dazu kommt, daß sämtliche Wagenachsen angetrieben werden können, daher das ganze Zuggewicht für die Reibungszugkraft nützlich verwertet werden kann (vergl. Abschnitt VII). Ferner arbeitet der Elektromotor im Beharrungszustande mit konstantem Drehmoment, also mit stets gleichbleibender Zugkraft, während die Dampflokomotive durch ihren Kurbelmechanismus eine während jeder Radumdrehung veränderliche Zugkraft erzeugt. Elektrisch betriebene Züge können infolgedessen steile Rampen leichter überwinden als Dampflokomotiven. Auf der Chamonixbahn z. B. kann ein aus sieben Triebwagen gebildeter, 150 t schwerer Zug selbst auf der Rampe von 90‰ noch anfahren.

erschließende Touristenbahn Le Fayet-Chamonix zwei Steilrampen von 80 und 90‰, und zwar die erstere in 1386 m Länge, die andere in 2155 m. Die Reibungsstrecken der im Jahre 1903 eröffneten Vesuvbahn haben Rampen bis 80‰, darunter eine 548 m lange. Auf der Bahn Le Havre-Saint Marie findet sich sogar der Höchstwert von 115‰. Frankreich weist sonach für beide Betriebsarten die größten auf Reibungsbahnen vorkommenden Steigungen auf.

Für die deutschen Bahnen schreibt die Bau- und Betriebsordnung (§ 7) folgendes vor:

a) Hauptbahnen. 1. Die Längsneigung auf freier Strecke darf in der Regel 25‰ (1 : 40) nicht überschreiten.
2. Die Anwendung einer stärkeren Neigung als 12,5‰ (1 : 80) bedarf der Genehmigung der Landesaufsichtsbehörde und der Zustimmung des Reichs-Eisenbahnamtes.
3. Bahnhofsgleise dürfen, abgesehen von Rangiergleisen, nicht stärker als 2,5‰ (1 : 400) geneigt sein.

b) Nebenbahnen. 1. Stärkste Neigung auf freier Strecke in der Regel nicht größer als 40‰ (1 : 25).
2. Stärkere Neigungen als 40‰ (1 : 25) bedürfen der behördlichen Genehmigung.
3. Bahnhofsgleise wie bei Hauptbahnen, jedoch können Ausnahmen von der Landesaufsichtsbehörde zugelassen werden.

Elektrisch betriebene Straßenbahnen sind, wie hier eingeschaltet sein mag, häufig mit Steigungen über 70‰ ausgeführt; so z. B. zeigen die Straßenbahnen in Cairo 80‰, Belgrad 100‰, Kiew 105‰, Remscheid 106‰, Zürich 109‰ und in Lausanne gar 116‰ und 127‰ (auf 140 m Länge).

Derartig steile Neigungen erfordern bei der Talfahrt eine besonders kräftige Bremswirkung, um die auf S. 39 kurz erörterte starke Beschleunigung der Schwerkraft aufzuheben. Die Radbremse ist hierfür nicht immer ausreichend, weshalb hier noch andere Bremsmittel, wie z. B. die Schienenbremse, Verwendung finden. In Lausanne sind zu dem Zwecke Bremshölzer neben der einen Fahrschiene in die Straßenbettung eingebaut, gegen die gezahnte Klauen gepreßt werden. Auf den Steilrampen der Chamonixbahn ist eine dritte Schiene inmitten des Fahrgleises verlegt, gegen die sich im Notfall Bremsbacken legen; jene dürfen zudem bei der Talfahrt nur mit 10 km/st, bei der Bergfahrt mit 13 km/st befahren werden.

Lange Bremsstrecken erhöhen die Unterhaltungskosten, da sie die Bremsklötze, Radreifen und unter Umständen auch die Schienen stark und schnell abnutzen.

Da bei Reibungsbahnen die Nutzleistung einer Dampflokomotive auf Steigungen größer als etwa 45 bis 50‰ verhältnismäßig klein ausfällt, auch der ordnungsmäßige Zugbetrieb bei schlechter Witterung, besonders zur Winterzeit, leicht unliebsame Störungen erleidet, so baut man jetzt die Steilrampen, die über jenes Steigungsverhältnis hinausgehen, in der Regel als Zahnbahn. Hierbei wird eine Zahnstange mit aufrechtstehenden, seltener mit flachliegenden Zähnen inmitten des Gleises verlegt. Von der Lokomotive angetriebene Zahnräder wälzen sich in ihr ab und ziehen dadurch den ganzen Zug hoch bezw. sichern ihm die Talfahrt.

Kann man hierbei die Steilrampen an einzelnen Stellen derart zusammendrängen, daß zwischen ihnen flach geneigte Reibungsstrecken möglich werden, so erhält man die vereinigte Reibungs- und Zahnbahn, wie sie zuerst von Abt und Schneider i. J. 1886 auf der 30 km langen Harzbahn Blankenburg-Tanne (11 Zahnstrecken von zusammen 6,6 km Länge) zur

Anwendung gebracht ist. Diese „gemischte“ Bahnanordnung hat seitdem vielfache Benutzung in den verschiedensten Ländern gefunden, u. a. bei der im Jahre 1904 eröffneten Linie der preußischen Staatsbahnen Ilmenau-Schleusingen im Thüringer Wald. Auch die zurzeit der Vollendung entgegengehende transandinische Bahn (vergl. S. 25) wird in dieser Weise ausgebaut. Die Zahnstangenrampe an der Wasserscheide steigt bis 3190 m Seehöhe. Durch diese Bauart wird die Bahnlänge und die Bausumme wesentlich verringert. Die Lokomotive ist beiden Bahnarten angepaßt, arbeitet also sowohl auf der Reibungsbahn, als auch auf den Zahnstrecken.

Handelt es sich darum, einen steilen Gebirgshang zu erklimmen, so wird die Zahnstange in ganzer Länge der Bahn inmitten des Gleises verlegt. Mittels solcher Zahnbahn, auch Zahnstangen- oder Zahnradbahn genannt, werden Rampen bis 480‰, fast 1 : 2, (Pilatusbahn) erstiegen. Näheres über diese und „gemischte“ Bahnen vergl. im Abschnitt „Zahnbahnen.“

Hängt man die Fahrzeuge an ein Drahtseil, das durch eine Kraftmaschine oder durch die Schwerkraft eines Übergewichts bewegt wird, so lassen sich noch größere Steigungen überwinden. Es fällt hier im Gegensatze zu den Lokomotivbahnen die sehr erhebliche Arbeit fort, die für das Heben der Lokomotive selbst notwendig ist. Man ist jetzt bei längeren Steigungen bis zu 600‰ = 1 : 1,66 gegangen, wie bei der Stanserhornbahn und der Grütschalpbahn (Mürrenbahn) bei Lauterbrunnen. Für kürzere Strecken hat man noch größere Steigungen zugelassen, so z. B. auf der 1897 erbauten Seilbahn Pilar-Bahia 780‰ = 1 : 1,3 und auf der im Herbst 1903 eröffneten Mendelbahn bei Bozen 640‰ = 1 : 1,56. Die Fahrgeschwindigkeit und die tote Last sind klein, um nicht zu schwere Drahtseile und zu große Triebkräfte zu erhalten. Die Leistungsfähigkeit der Seilbahnen ist daher eine beschränkte. Näheres vergl. im Abschnitt „Seilbahnen“.

V. Linienführung.

Oftmals ist nun die Geländebildung derart, daß man die Bahnlinie nicht mit der maßgebenden Steigung auf tunlichst direktem Wege hindurchlegen kann. Das natürliche Gefälle des zu durchfahrenden Passes kann so stark sein, daß die bergaufwärts geführte Bahn bald in die Sohle einschneiden würde und dann im Tunnel weitergeführt werden müßte, was meistens nicht angängig ist. Auch kann der Fall vorliegen, daß ein Gebirgsstock vorgelagert ist und durchtunnelt werden muß, die Bahn ihn aber mit der maßgebenden Steigung noch so tief trifft, daß der Tunnel viel zu lang und zu teuer ausfallen würde. Man muß dann darnach trachten, die Bahn in höherer Lage an den Talhängen hinzuleiten, so daß der Gebirgszug an einer wesentlich schmaleren Stelle angeschnitten wird. Freilich darf anderseits wiederum die Bahnlinie auch nicht zu hoch über der ganzen Talsole sich hinziehen; denn unten liegen die Ortschaften, die bequemen Zugang zu den Stationen haben müssen. Beide widerstreitende Forderungen sind miteinander zweckmäßig in Einklang zu bringen. Man sucht in solchem Falle der Bahn an geeigneten Stellen durch Ablenkung vom direkten Wege absichtlich eine größere Länge zu geben, damit sie dadurch — ohne Erhöhung des Steigungsverhältnisses — die gewünschte Höhenlage erlangt. Man nennt dieses Verfahren: die künstliche Entwickelung der Linie. Hierfür haben sich nach und nach mehrere Weisen ausgebildet, die wegen ihrer sinnreich erdachten Art verdienen, kurz erörtert zu werden.

1. Ausfahren von Seitentälern.

Das älteste Mittel zur Höhengewinnung ist das des Ausfahrens von Seitentälern. Schließen solche an das von der Bahn durchzogene, stark ansteigende Haupttal an, so wird die Linie an der Lehne eines dieser Nebentäler entlang geführt, dann mittels einer Brücke über die Talschlucht geleitet, um an dem gegenüberliegenden Hange in das Haupttal zurückzukehren und zwar in wesentlich höherer Lage als vorher beim Eintritt in das Seitental. In dieser Weise sind namentlich die beiden ersten Alpenbahnen, die über den Semmering und über den Brenner, durchgeführt worden.

Die Semmeringbahn wurde 1848—1854 unter Ghegas Leitung erbaut. Überaus reich an landschaftlich hervorragenden Bildern und Naturreizen, gehört diese im Zuge der Wien-Triester Linie liegende älteste Gebirgsbahn nicht nur zu den schönsten Bahnen, sondern auch zu den denkwürdigsten. Sie bildet einen bedeutungsvollen Merkstein in der Entwickelung der Eisenbahnen. Ihr Bau, noch heute bewundert, hat seinerzeit völlig neue Gesichtspunkte eingeführt. Er hat gezeigt, daß sich Hauptbahnen mit langen Steigungen von 25 ‰ (1 : 40) und scharfen Krümmungen durchführen lassen, wenn genügend leistungsfähige und für das Durchfahren der Gleisbogen geeignete Lokomotiven zur Verfügung stehen. Diese fehlten aber bis 1850, weshalb auch die Überschienung des Semmerings von vielen angezweifelt, von anderen nur mittels einer Seilbahn oder gar einer atmosphärischen Eisenbahn für möglich gehalten wurde. v. Ghega drang aber schließlich mit seinem Entwurf einer Reibungsbahn durch. Die österreichische Regierung erließ 1850 ein Preisausschreiben auf die Herstellung der für den Betrieb der Semmeringbahn geeignetsten Lokomotive. Die hierdurch hervorgerufenen neuartigen Bauarten führten nicht nur zu brauchbaren Gebirgslokomotiven, sondern wirkten auch befruchtend auf die Ausbildung der Lokomotiven für die Flachlandbahnen zurück (vergl. Abschnitt „Lokomotiven"). Andererseits hatte man auch erkannt, wie Alpenbahnen anzulegen waren. Zehn Jahre später (1864 bis 1867) folgte die zweite Gebirgsbahn, die über den Brenner. Zu gleicher Zeit überschiente man in Nordamerika das Felsengebirge und die Sierra Nevada und verband so unter Aufwendung großer Kapitalien und vieler Arbeit den Atlantischen mit dem Stillen Ozean, erschloß mit dieser ersten, 1869*) eröffneten Pacificbahn (Central Pacific) der Kultur und dem Weltverkehr weite Gebiete. Ihr folgten später die anderen bekannten Überlandbahnen der Neuen Welt, die Northern, die Southern, die Canadian Pacificbahn usw., die wie die erstgenannte Strecke sich alle durch eine hochinteressante Linienentwickelung in den Gebirgsstrecken auszeichnen. Es sei hier nur an die bekannte Wendekurve erinnert, in welcher zwischen Altoona und Gallitzin die Schluchtenhänge des Alleghanygebirges kurz vor dessen Scheiteltunnel übersetzt werden. Sie hat Hufeisenform und ruht zum Teil auf hohen Dämmen; die Steigung beträgt 18 ‰.

Auch die jüngste der Überlandbahnen, die Sibirische Eisenbahn, zeigt an verschiedenen Stellen künstliche Entwicklung, worunter namentlich die an den Hängen des Altangaisky Gebirges (Transbaikallinie) erwähnenswert ist.

*) Die letzte Schiene dieser großen, die Sierra Nevada in 2514 m Höhe überschreitenden Bahn war versilbert worden und wurde unter besonderer Feierlichkeit am 10. Mai 1869 mit goldenem Nagel auf einer Schwelle von Zedernholz befestigt. Für Nordamerika war diese Überlandbahn von hervorragender Bedeutung. In vier Tagen durcheilt jetzt das Dampfroß die 5200 km lange Bahnstrecke (New York-Chicago-San Francisco).

Die Semmeringbahn schmiegt sich tunlichst den Berglehnen an, infolgedessen sie auch zur Hälfte in Krümmungen — von oftmals kleinem Halbmesser (190 m) — liegt, was freilich die Fahrt infolge der fortwährend wechselnden Ausblicke in die Täler und Schluchten, auf die Bergkuppen und Gipfel, sehr lohnend macht. Die künstliche Linienentwickelung durch Ausfahren von Seitentälern ist hier, wie das Kärtchen der Abb. 12*) zeigt, wiederholt zur Anwendung gebracht. So wird z. B. das liebliche Schwarzatal durchzogen und mittels des auf 13 Steinbogen ruhenden, 228 m langen Payerbach-Viaduktes übersetzt. Die Linie gewinnt durch diese Seitenabschwenkung zwischen den in der Luftlinie nahe benachbarten Stationen Gloggnitz und Eichberg 171 m Höhe. Die Wasserscheide des Semmerings wird zwecks Vermeidung des noch 87 m höher gelegenen Paßscheitels in einem 1430 m langen Tunnel überschritten, dessen Scheitelpunkt 896 m über dem Meeresspiegel liegt. Trotz dieser verhältnismäßig geringen Meereshöhe sind die klimatischen Verhältnisse doch derart, daß,

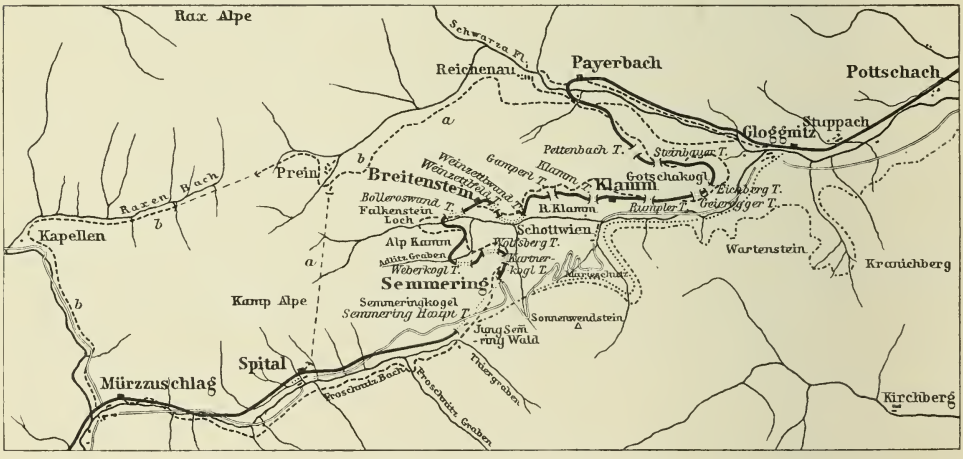


Abb. 12. Lageplan der Semmeringbahn.

um das Vereisen des Tunnels zu verhüten, dieser im Winter an beiden Mündungen durch Tore geschlossen gehalten und bei scharfem Frost durch einige Öfen geheizt werden muß. Die Tore werden nur bei Durchfahrt der Züge geöffnet. An Kunstbauten besitzt die nur 42 km lange Linie zwischen Gloggnitz und Mürzzuschlag 15 Tunnel mit 4500 m Gesamtlänge und 145 Brücken, darunter 16 Talbrücken von zusammen 1500 m Länge, die, zumeist auch in scharfen Krümmungen liegend, stattliche Bauwerke darstellen.

Eine der schwierigsten Baustellen war die an der steil abfallenden, etwa 300 m hohen Weinzettlwand (Abb. 13). Es folgen sich hier drei Tunnel in kurzem Abstande, die durch zwei gewölbte, mit Seitenöffnungen versehene Galerien verbunden sind. Diese hochinteressante, 695 m lange

*) Der nebst Abb. 20 und 21 der „Geschichte der Eisenbahnen der Österr.-ungar. Monarchie“ entnommene Lageplan enthält auch in punktierten Linien alle die anderen in damaliger Zeit aufgestellten Vorschläge zu einer Reibungsbahn über den Semmering. So war eine Nordlinie (b, b) von Payerbach über Prein am Raxenbach entlang geplant, während ein anderer Entwurf (a, a) einen 6000 m langen Tunnel zwischen Prein und Spital vorsah. Da man aber derzeit noch die Herstellung so langer Tunnel scheute, so schied diese sonst vorteilhafte Linie von vornherein aus. Vergl. damit S. 72.

Strecke liegt teils in der Geraden, teils in einem Bogen von 190 m Halbmesser. Unter den Viadukten ist der über die Kalte Rinne der hervorragendste Inmitten einer großartigen Gebirgswelt errichtet, ist er technisch dadurch bemerkenswert, daß er bei 184 m Länge gänzlich in einer Krümmung von nur 190 m Halbmesser und mit einer Steigung der Fahrbahn von 25‰ erstellt wurde. Er besteht aus zwei zusammen 46 m hohen Stockwerken, von denen das untere mit fünf Bogen aus Quadermauerwerk, das obere mit zehn Bogen aus Ziegeln errichtet ist, also eigentlich zwei Brücken übereinander. Abb. 14 läßt den Bau, wenn auch stark verkürzt, erkennen und zeigt auch das der Semmeringbahn eigentümliche enge Anschmiegen der Linie an das Gelände. Vielfach wird sie durch hohe Stützmauern gesichert, die bis 15 m hoch und insgesamt 13 km lang sind.

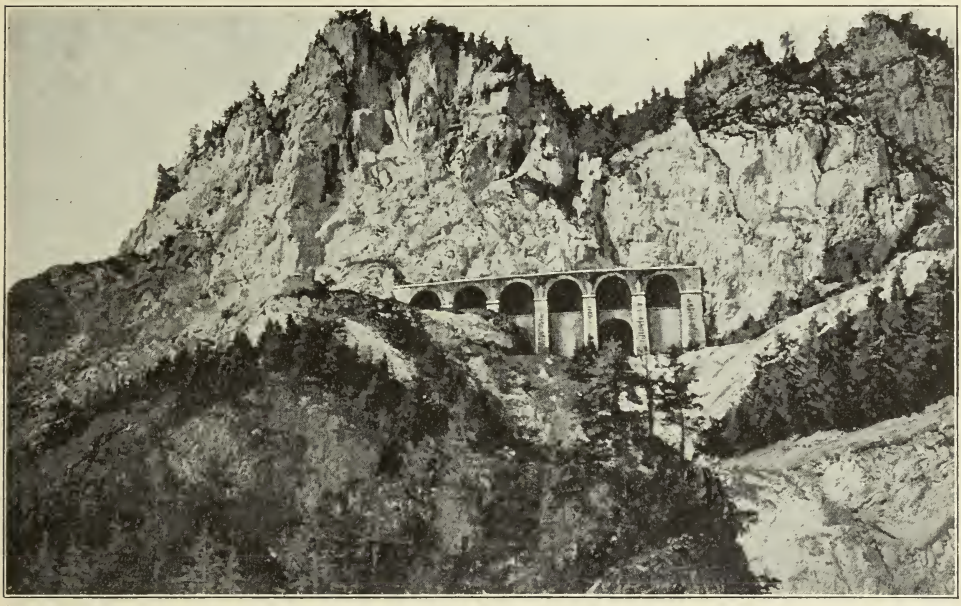


Abb. 13. **Die Weinzettlwand (Semmeringbahn).**
(Nach einer Aufnahme von Würthle & Co. in Salzburg.)

Man hat sie wegen ihrer vielen Kunstbauten nicht mit Unrecht eine gemauerte Bahn genannt. Ihre Anlagekosten einschließlich der Ausgaben für Ausrüstung betragen denn auch rund 42,5 Millionen Mark, das macht etwas über 1 Million Mark für das laufende Kilometer.

In dieser Ausführung hat sie keine Nachahmung gefunden, wie schon die ihr wenige Jahre später folgende, demselben Lande angehörige Brennerbahn zeigt. Namentlich führt man heutigestags so ausgedehnte und hohe Talübergänge*) wohl kaum noch stockwerkartig aus, zieht auch der Kosten-

*) Besonders hohe Steinviadukte früherer Jahre finden sich in Sachsen, wo ihre Höhe über Talsohle fast 80 m erreicht, wie z. B. die 418 m lange Muldentalbrücke der Leipzig-Chemnitzer Bahn (= 67 m), der Elstertalviadukt bei Jocketa (= 68 m) und der berühmte vierstöckige Göltzschtalviadukt der sächsischen Staatsbahnen, der in den Jahren 1846 bis 1851 mit einem Kostenaufwande von 6,6 Millionen Mark erbaut wurde; Länge = 573 m, Höhe = 77 m. — Sehr hohe schmiedeiserne Eisenbahnbrücken finden sich in Amerika. Der mit vier Spannweiten von zusammen 175,3 m Länge ausgeführte Verrugasviadukt der Peruanischen Zentralbahn Callao-Oroya (S. 77) liegt mit Schienenhöhe 80 m über Wasserspiegel, die 343,2 m lange Kentucky River-Talbrücke (drei Spannweiten) der Cincinnati Southernbahn desgleichen 84 m über

Abb. 14. **Zweistöckige Talbrücke über die Kalte Rinne (Semmeringbahn).**
(Nach einer Aufnahme von Würthle & Co. in Salzburg.)

Abb. 15. **Die Müngstener Talbrücke.**
(Nach einer Aufnahme der Nürnberger Maschinenbau-Gesellschaft.)

ersparnis wegen häufig Eisen vor. Ein solches Beispiel neuerer Art ist die 1897 fertiggestellte Müngstener Talbrücke zwischen Remscheid und Solingen (Westfalen). Ihre Ansicht ist in Abb. 15 wiedergegeben, um einen Vergleich zwischen einst und jetzt auch auf diesem Gebiete zu ermöglichen. Sie ist die zweitgrößte Brücke auf dem europäischen Festlande. Ihr 170 m weiter Mittelbogen liegt im Scheitel mit seiner Unterkante 107 m hoch über der Wupper und ist von überwältigender Wirkung. Ihr Entwurf und ihre Ausführung rühren von der Nürnberger Maschinenbau-Gesellschaft her, die damit dem deutschen Brückenbau zu neuen Ehren verholfen hat. Überholt wird dieses Kunstwerk nur von der im Herbst 1902 vollendeten Talbrücke über den Viaur in Frankreich, deren Mittelöffnung 220 m Spannweite und 112 m Höhe über Wasserspiegel besitzt. An Gesamtlänge steht sie der 500 m langen Müngstener Brücke allerdings um 40 m nach. England übertrifft bis jetzt durch die 3227 m lange Tay-Brücke*), Abb. 16 und durch die gewaltige 2528 m lange Firth of Forth-Brücke**), Abb. 17 u. 18, alle anderen Eisenbahnbrücken der Welt, wie es auch seinerzeit die erste größere schmiedeiserne Eisenbahnbrücke erstellte, die berühmte Röhrenbrücke über die Menai-Strait im Zuge der Eisenbahn Chester-Holyhead, Abb. 19. Erbauer dieser Britanniabrücke war Robert Stephenson, langjähriger Leiter der von seinem Vater George gegründeten Lokomotivfabrik in Newcastle-on-Tyne. Die Brücke gilt heute noch als ein Meisterwerk der Ingenieurkunst, das ein unvergängliches Denkmal seines Schöpfers bildet. Gern weilt der Fachmann bei ihrem gewaltigen, eigenartigen Bau, betrachtet sinnend die einfache, aber inhaltreiche Inschrift am Portal: „Robert Stephenson, Engineer“ und läßt die 55 Jahre, die seit ihrem Bau verflossen sind, an seinem geistigen Auge vorüberziehen. Was ist in ihnen nicht alles auf dem Gebiete des

---

Talsohle; der 665 m lange Pecos River-Viadukt der Süd-Pacificbahn (48 Spannweiten) hat Gerüstpfeiler von 98 m Höhe (während die Schienen noch $2^1/_4$ m höher liegen), die über den Loafluß führende Talbrücke der Antofagasta-Orurobahn (S. 76) hat sogar solche von 103 m; während der 470 m lange Sioule-Viadukt bis 92,3 m hohe Steinpfeiler aufweist bei einer Schienenhöhe von 130,5 m über Wasserspiegel. Im allgemeinen ist bei einer Gleishöhe über Tal von etwa 25 m eine Talbrücke einem geschütteten Damm der Kosten und Sicherheit wegen vorzuziehen. Örtliche Verhältnisse führen auch hier zu Ausnahmen; so finden sich in Süddeutschland mehrfach Erddämme von etwa 30 m Höhe, während der Damm durch das Kohlbachtal im Zuge der Deggendorf-Eisensteinbahn sogar 45 m hoch ist. Er hat mehr als $^1/_2$ Million Kubikmeter Schüttmasse erfordert.

*) Die erste, i. J. 1878 nach dem Entwurfe von Sir Thomas Bouch vollendete Tay-Brücke (85 Öffnungen von zusammen 3155 m Länge) stürzte am Abend des 28. Dezember 1879 während eines ungemein heftigen Orkanes ein, als gerade ein aus Lokomotive und sieben Wagen bestehender Personenzug sie befuhr. Dreizehn in der Brückenmitte befindliche Hauptöffnungen von je 74,7 m Weite brachen zusammen; 86 Personen verloren ihr Leben. Die Brückenpfeiler waren aus gußeisernen Säulen zusammengesetzt. Mängel im Entwurf und in der Ausführung waren im Verein mit dem ungewöhnlich hohen Winddruck die Ursache des Einsturzes.

Die neue, in Abb. 16 dargestellte Brücke, die gleichfalls 85 Spannweiten zählt, wurde 1887 dem Betriebe übergeben. Sie ist im Gegensatz zur vorgenannten Bauart zweigleisig und in sorgfältiger Arbeit hergestellt. Ihre schmiedeisernen Pfeiler haben Zwillingsanordnung. Bemerkenswert ist die 90°-Kurve von 422 m Halbmesser am nördlichen Tayufer, mit der die Brücke an den Bahnhof in Dundee anschließt. Ihre Baukosten belaufen sich auf 21 Millionen M.

**) Die eigentliche Ausleger- oder Kragebrücke (Abb. 17) ist 1625 m lang; an sie schließen beiderseits Viadukte an (Abb. 18), die mit den Endwiderlagern die Gesamtlänge auf 2528 m steigern. Die Mittelpfeiler der drei Doppelkrager sind 106,7 m hoch. Jede der beiden 521 m weiten Hauptöffnungen läßt auf 152 m Länge eine Höhe von 46 m über Hochwasser für die Schiffahrt frei. Die Brücke wurde nach 7jähriger Bauzeit, in der zeitweilig bis 4600 Arbeiter gleichzeitig beschäftigt waren, anfangs 1890 vollendet. Ihre Herstellungskosten betragen $60^1/_4$ Millionen M., wovon nahezu 22 Millionen M. auf Löhne und Gehälter entfallen.

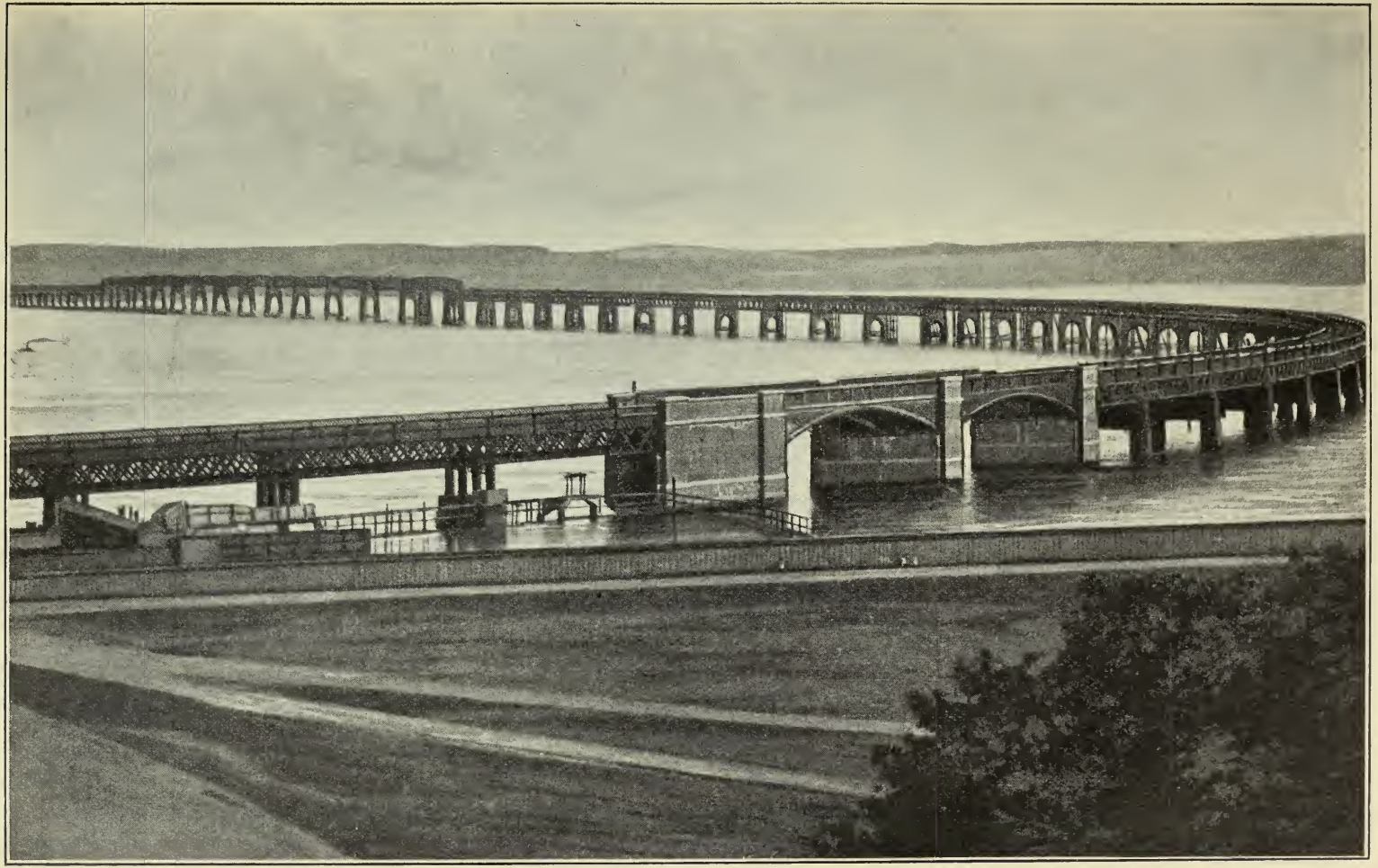


Abb. 16. **Tay-Brücke bei Dundee.**
(Entworfen von Barlow.)

Abb. 17. **Firth of Forth-Brücke.**
(Entworfen von Fowler und Baker.)

Ingenieurwesens geschaffen, entwickelt und ausgereift, wie ist dadurch die Kultur gehoben und verallgemeinert, wie sind dadurch unsere äußeren Lebensverhältnisse gründlich, aber segensreich umgestaltet worden!

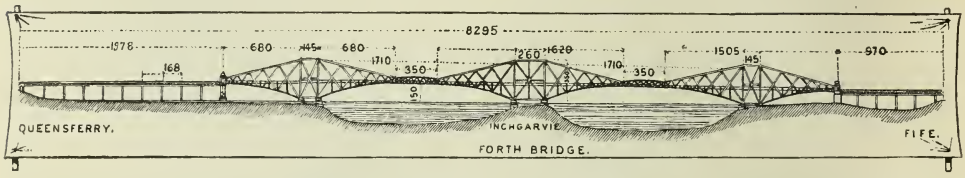


Abb. 18. **Die Firth of Forth-Brücke.**
(Maße = engl. Fuß à 0,3048 m.)

Das vorstehend erörterte Ausfahren von Seitentälern ist auf der Brennerbahn, erbaut 1864—1867 nach v. Etzels Entwurf, zweimal im größeren Maßstabe zur Anwendung gebracht, bei Stafflach und bei Gossensaß. Bei ersterem Orte biegt die Bahn nach Abb. 20 aus dem Haupttale der Sill in das hier auslaufende Schmirner Tal ein. Man erblickt vom Wagen aus hoch oben auf der anderen Talseite die Mündung des 468 m langen

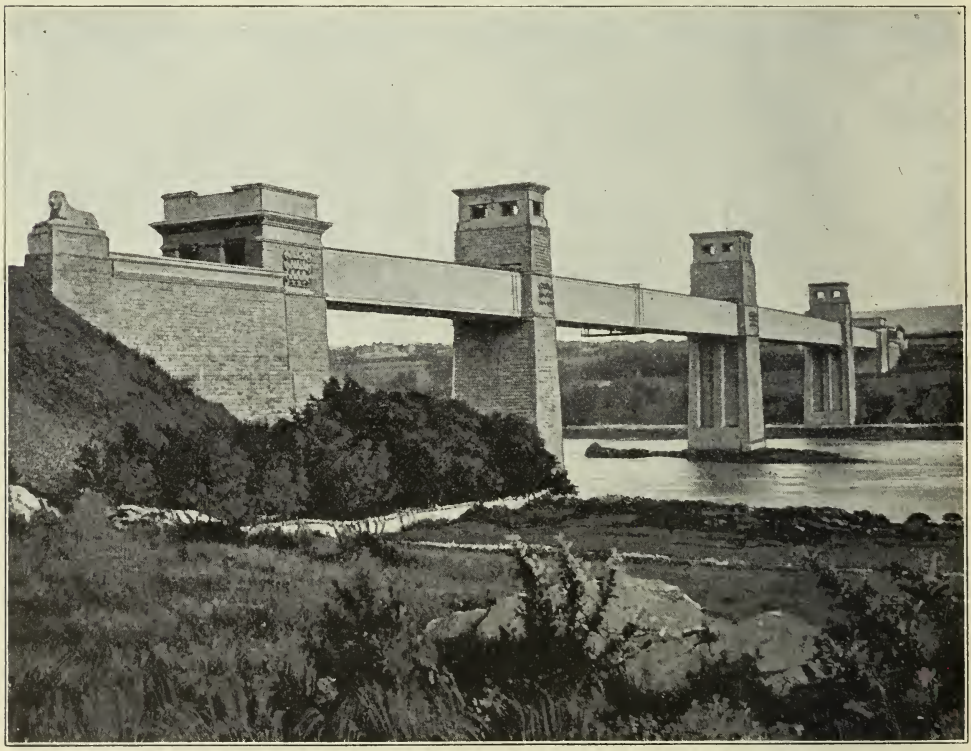


Abb. 19. **Die Britanniabrücke über die Menaistraße.**
(Älteste größere Eisenbahnbrücke aus Schmiedeisen.)

Kehrtunnels von St. Jodok, der unter steter Steigung die Richtungsänderung vermittelt. Rechts öffnet sich ein schöner Blick in das durch Gletscher abgeschlossene Valser Tal. Nach Durchfahren des Tunnels wird dieses übersetzt und jetzt zur Linken erblickt. Die Bahn zieht sich rund 60 m über der eben passierten Linie weiter am Südhang des Schmirner Tales empor, um schließlich wieder mittels eines stark gewundenen Tunnels in

das Silltal einzubiegen und dieses weiter zu verfolgen. Die durch das Seitental erreichte Linienverlängerung mißt 3 km. — Auf dem Abstiege der Brennerbahn in das Eisacktal fällt das Gelände zwischen den Stationen Schellenberg (1240,3 m ü. M.) und Gossensaß (1061,1 m ü. M.) steil ab. Beide Punkte liegen in der Wagerechten etwa 1000 m voneinander entfernt, in der Senkrechten dagegen 179,2 m untereinander, was bei direkter Linienführung die Neigung von 179‰ (= 1 : 6) ergäbe, also nur durch eine Zahnbahn erreichbar wäre. Durch Ausfahren des durch seine Gletscher weit bekannten Pflerschtales (Abb. 21), wobei die Bahn mit ihren zwei untereinander liegenden Entwickelungsstrecken an derselben Talseite bleibt, ist erreicht worden, daß die Neigung an keiner Stelle 22,7‰ (= 1 : 45) überschreitet. Die Bahnlinie ist freilich dafür 8,5 km lang geworden. Man gelangt daher auch zu Fuß schneller von Schellenberg nach Gossensaß als mittels des Zuges.

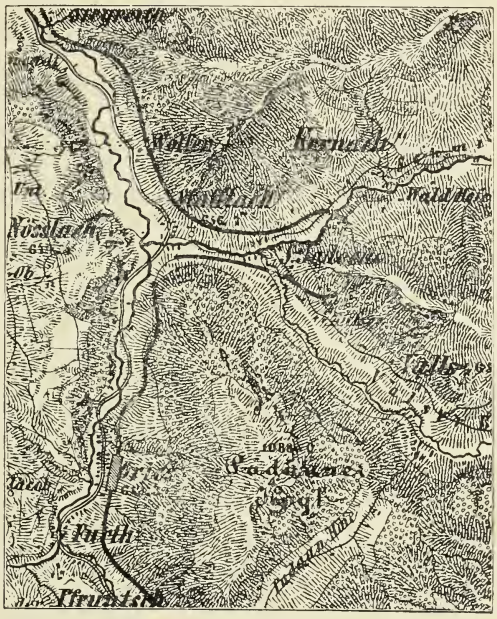


Abb. 20. Entwickelung der Brennerbahn im Schmirner Tal.

Der am Ende des Pflerschtales gelegene 761,3 m lange Tunnel von 285 m Krümmungshalbmesser ist die erste Anwendung eines längeren, nahezu halbkreisförmig sich hinziehenden Kehr- oder Spiraltunnels, wie solcher später

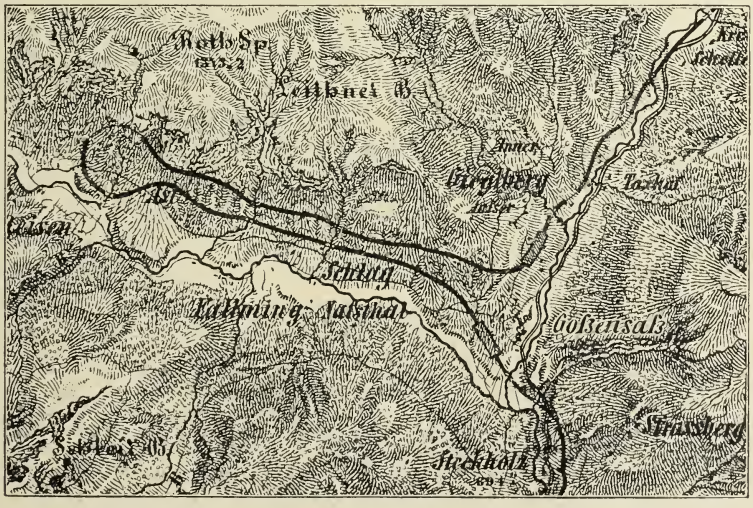


Abb. 21. Entwickelung der Brennerbahn im Pflerschtale.
(Maßstab 1 : 66 000.)

an der Schwarzwald- und vor allem an der Gotthard- und Albulabahn in größerem Maßstabe und fast kreisförmig verlaufend zur Anwendung gelangt ist. Die Fahrt auf derartig entwickelten Bahnen gestaltet sich

meistens äußerst genußreich infolge der wechselnden Niederblicke auf die malerischen Talgründe und Aussichten auf die hehre Gebirgswelt mit ihrem Trümmergestein, ihren ewig jungen Gletschern und blendend weißen Schneefeldern. Die Brennerbahn (Innsbruck-Bozen), welche allerdings in dieser Hinsicht der Semmeringlinie nachsteht, ist 125,4 km lang. Ihre größte Steigung von Innsbruck bis zur 1367,1 m über dem Meeresspiegel gelegenen Paßhöhe, der Wasserscheide zwischen Sill und Eisack, beträgt 25‰ (1 : 40), von da bis Sterzing 22‰ (1 : 44). Sie enthält 29 Tunnel von 5,3 km Gesamtlänge und 73 meist kleinere Brücken. Viadukte fehlen überhaupt. Im Vergleich zur Semmeringbahn kann sie eine brückenarme Linie genannt werden, wie überhaupt ihr Bau durch sehr geschickte Ausnutzung des Geländes verhältnismäßig sparsam ausgefallen ist. Die Baukosten betragen 50,2 Millionen Mark = 400 000 M/km, was in Anbetracht der geleisteten Arbeiten nicht sehr hoch ist, wurde doch sogar bei Matrei die Sill an stark gekrümmten Stellen durch einen 103 m langen Tunnel abgelenkt (desgleichen bei St. Peter der Mühltalbach), allerdings zu dem Zwecke, die sonst erforderlichen Brücken zu ersparen und dafür das alte Sillbett mittels Dammes zu übersetzen. Es mußten jedoch in den ersten Jahren nach der Betriebseröffnung infolge arger Hochwasserschäden usw. umfangreiche Nacharbeiten ausgeführt werden, die jene Bausumme um fast 2 Mill. Mark erhöht haben. Trotzdem erreichen die auf 1 km entfallenden Anlagekosten einschließlich der Ausrüstung noch nicht die Hälfte derjenigen der Semmeringbahn.

Auch auf den nordamerikanischen Gebirgsbahnen und an anderen Orten ist das Ausfahren von Seitentälern ausgenutzt worden.

Eine bemerkenswerte Anwendung dieser Art der Linienentwickelung auf kleinen Bahnen zeigt die 1893 eröffnete Yverdon-St. Croixbahn in der Westschweiz. Beide Endpunkte haben in der Geraden etwa 10 km Abstand, während die Bahnlinie 24,3 km mißt. Letztere erreicht mit durchschnittlich 26‰ Steigung und auf einer mehrere Kilometer langen Steilrampe von 44‰ das 632 m über Yverdon gelegene St. Croix. Die Spurweite beträgt 1 m. Die Züge werden durch vierzylindrige Mallet-Verbundlokomotiven befördert. Die Bergstrecke gewährt einen prächtigen Überblick über die Hochebene des Waadt bis zu der alles überragenden Montblancgruppe.

2. Bogenkehre und Spitzkehre.

Das zweite Verfahren der künstlichen Linienentwickelung besteht in der Anlage von Serpentinen. Die Poststraßen in den Gebirgsländern sind vielfach in zahlreichen Windungen aus den Tälern zur Höhe hinaufgeführt. Berühmt ist dieserhalb die in den Jahren 1821—1825 erbaute 5 m breite Stilfser Joch-Straße, die 48 Kehren auf der Tiroler Seite und 34 auf der lombardischen aufweist. Bekannt ist ferner der gewundene Abstieg der alten Gotthardstraße in das Val Tremola, sowie die von Napoleon angelegte Zaberner Steige bei Zabern im Elsaß, die ihren Namen von den vielen Windungsstufen erhalten hat, mittels derer die breite Heerstraße die Höhe am „Karlssprung“ überwindet. Der neben dem Rhonegletscher durchgeführte Abstieg der alten Furkastraße, ebenso der benachbarte der neuen Grimselstraße in das Wallis wird durch sieben zusammenhängende Serpentinen bewerkstelligt, während die neue, von Chamonix nach dem Wallis führende Fahrstraße unweit Triquent in etwa 30, zwischen Salvan und Vernayaz sogar in 50 Windungen sich senkt. In solchen Zickzacklinien kann man auch eine Bahnlinie an einem Hange hinaufführen. Die erforderlichen Richtungsänderungen an den Wendepunkten werden hier entweder durch Bogen oder durch Winkelspitzen bewirkt, und

demgemäß unterscheidet man die Bogenkehre und die Spitzkehre. Bogenkehren sind vielfach in Nordamerika zur Ausführung gekommen, u. a. auch in Colorado, jenem allbekannten, an wilden, tiefen und besonders langen Schluchten, erzreichen Minen, wie an kühnen Eisenbahnbauten merkwürdig reichen Lande. Durch vier Kehren (Abb. 22) wird hier die Ostseite des in 3507 m Meereshöhe gelegenen Hagermanpasses erstiegen.*) Diese Kehrengruppe gehört der Colorado Midlandbahn an. Das Durchfahren der ziemlich scharfen Kehren wird durch die Bauart der amerikanischen Wagen (mit Drehgestellen) erleichtert. Die Linie liegt in 24 bis 33 ‰ Steigung und mußte mehrfach, namentlich in den Gleisbogen, durch Gerüstbauten gestützt werden. Kehren finden sich namentlich auch auf der Denver und Rio Grande-Bahn, Nordamerikas berühmtester Bahnlinie.**) Zu den Kehrengerüsten, Talbrücken usw. wird in den holzreichen Gegenden Amerikas vielfach das billige Holz genommen. Derartige Holzbauten werden drüben Trestle works genannt. Sie bilden eine Eigentümlichkeit amerikanischer Eisenbahnen und sind Ursache, daß dort häufiger Brückeneinstürze zu verzeichnen sind als anderswo. Auch durch Brand werden solche Anlagen nicht allzu selten zerstört. Auf den wichtigeren Linien sind sie vielfach schon durch Eisenbrücken ersetzt worden. Zurzeit bestehen aber noch etwa 110 000 solcher Holzwerke in einer Gesamtlänge von etwa 8000 km.***) Zur Veranschaulichung dieser in Europa nicht üblichen Bauweise diene Abb. 23.†) Eine andere hierher gehörige Sonderheit in der äußeren Erscheinung jener Bahnen bilden die zum Schutze der Gleise gegen Lawinensturz und Schneeverwehungen nach Art der Abb. 24 errichteten Schneedächer. Die Union Pacificbahn weist z. B. in der Sierra Nevada (vgl. S. 401) 48 km lange Strecken auf, die in dieser Art haben eingedeckt werden müssen. Im Sommer

Abb. 22. Bogenkehren am Hagermanpaß (Nordamerika).

*) Die Kehren werden durch einen in der Abbildung angedeuteten Tunnel unterfahren, der von den Güterzügen und im Sommer bei Verspätung auch von Personenzügen benutzt wird.

**) So durchzieht z. B. diese Bahn (Schmalspur) zwischen Pueblo und Salida den 13 km langen Engpaß des Arkansas, dessen Felswände bis 800 m senkrecht aufragen. In diesem schmalen Cañon kämpfen überall Bahn und Fluß um den Platz. An engster Stelle, wo der wildbrausende Fluß die ganze Breite dieser Riesenklamm ausfüllt, liegt das Bahngleis in 83 m Länge auf einer Brücke, die mit der einen Längseite an eisernen, in die Bergwände eingelassenen Gerüsten aufgehängt ist. Nachdem die Linie von Salida (2149 m ü. M.) aus in 41,8 km langer Rampe den kurvenreichen, bis 40 ‰ steilen Anstieg zum 3309 m hoch gelegenen Marshallpaß und in gleicher Weise den Abstieg von da bewirkt hat, wobei ausgedehnte Schneegalerien notwendig wurden, durchzieht sie das Black Cañon, eine 24 km lange wildromantische enge Schlucht, die mit dem vorgenannten Cañon an Schroffheit eifert. Die vollspurige, von Überlandzügen befahrene Hauptlinie Salida-Grand Junction (vgl. Tafel S. 78) ersteigt in 3180 m Meereshöhe den Tennesseepaß. Wegen der verschiedenen Spurweiten vgl. S. 86.

***) Die Northern Pacificbahn ist besonders reich an diesen Holzbauten. Ihre 3304 km lange Hauptlinie Portland-St. Paul besitzt solche in einer Gesamtlänge von rund 80 km und bis 40 m Höhe. Ein erheblicher Teil hiervon liegt auf den beiden Hängen des Felsengebirges, die sie in vielen Kehren überwindet. Am Osthange zählt man auf einer 32 km langen Strecke 45 dieser hölzernen, vielfach in den Kehren errichteten Brückenwerke. Über die eigenartige Geschichte des Riesenunternehmens vgl. v. d. Leyen, Die nordamerikanischen Eisenbahnen in ihren wirtschaftlichen und politischen Beziehungen, 1885.

†) Abb. 23 und 24 aus v. Schlagintweit, Die Pacific-Eisenbahn in Nordamerika.

leiden die Schneedächer vielfach durch Brand, weshalb die Bahnverwaltungen besondere Feuerwachen eingerichtet haben. Auch auf Europas nördlichster Eisenbahn, der im Jahre 1903 eröffneten Ofotenbahn, die sich bis 68° 47′ n. Breite erstreckt und durch die ein fast 11 100 km langer Schienenweg zwischen Narvik (Atlantischer Ozean) und Wladiwostok (Stiller Ozean) geschaffen ist, hat man zahlreiche Schneegalerien aus Holz oder Bruchsteinmauerwerk*) errichten müssen, um den Betrieb gegen Lawinen oder Schneeverwehungen zu sichern. Diese langen plumpen Schutzgalerien verleihen den Bahnen gerade kein anmutiges Gepräge, erhöhen auch nicht

Abb. 23. Holzbrücke (Trestle Work) in der Sierra Nevada.

die Annehmlichkeit der Fahrt. Auf der kanadischen Überlandbahn hat man deshalb an landschaftlich schönen Punkten ein zweites offenes Gleis neben der Schutzgalerie verlegt, über das die Züge zur Sommerzeit fahren.

Die Anlage der Bogenkehren ist nicht ganz einfach und läßt sich, namentlich bei größerer Spurweite, kaum ohne kostspielige Kunstbauten (Brückengerüste, Kehrtunnel) durchführen. Billiger ist die Spitzkehre.

Die Anwendung der einfachen Spitzkehre zeigt Abb. 25. Sie gehört der peruanischen Hochgebirgsbahn Callao-Lima-Oroya an, deren Linienentwickelung, namentlich auf der rund 80 km langen, mit 40‰ Höchststeigung angelegten Steilrampe großes Geschick und viele Mannigfaltigkeit verrät. Der Verkehr dieser höchsten Bahn der Welt, vergl. die

*) Näheres mit Abbildungen in Glasers Annalen 1904, Bd. 55, S. 106.

Tafel zu S. 76, ist ein verhältnismäßig schwacher, daher konnten hier Spitzkehren zur Verminderung der Anlagekosten Verwendung finden.

Bei der Kehre der Station San Bartolome (Abb. 25)*) beträgt der

Abb. 24. Schneedach zum Schutze der Eisenbahnen.
(Verschalung noch nicht aufgebracht.)

Höhenunterschied der beiden Geländepunkte A und B 166 m, ihre wagerechte Entfernung 260 m. Es entspricht dies einem Steigungsverhältnis von 638 ‰, was nur durch eine Seilbahn zu überwinden sein würde. Durch

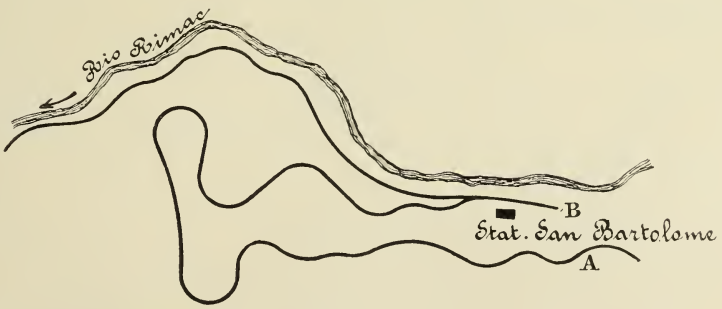


Abb. 25. Spitzkehre auf der Station San Bartolome (Callao-Oroya Bahn).

Einbau der Spitzkehre bei B im Verein mit einer T-Schleife ist die durchschnittliche Bahnneigung zwischen A und B auf 33,2 ‰, mit 40 ‰ Höchstwert, eingeschränkt worden; die Bahnlänge ist dafür freilich auf 5 km gewachsen.

*) Abb. 25, 26, 30 und 31 nach Wellington, „Railway Location" 1904, S. 685.

Noch bemerkenswerter ist die in Abb. 26 veranschaulichte, derselben Bahn angehörige Spitzkehrengruppe. Die Bahnpunkte A und B zeigen in der Luftlinie einen Abstand von 2,57 km, während ihr Höhenunterschied 315 m mißt, entsprechend einem Steigungsverhältnis von 123‰. Durch

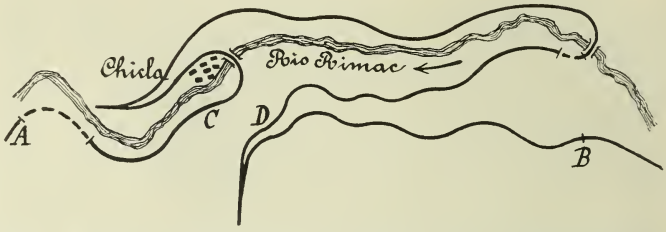


Abb. 26. **Einfache Spitzkehre bei der Station Chicla (Callao-Oroya Bahn).**

Hintereinanderschaltung zweier Spitzkehren mit eingeschobenen Bogenkehren ist die Neigung auf etwa ein Drittel jenes Wertes ermäßigt, die Gleislänge A-B dagegen auf das Dreifache vergrößert worden. Es gilt auch hier der alte Grundsatz der Mechanik: Was an Steigung und somit an Zugkraft erspart wird, geht an Weg verloren und umgekehrt. Die Bahnlinie bildet bei

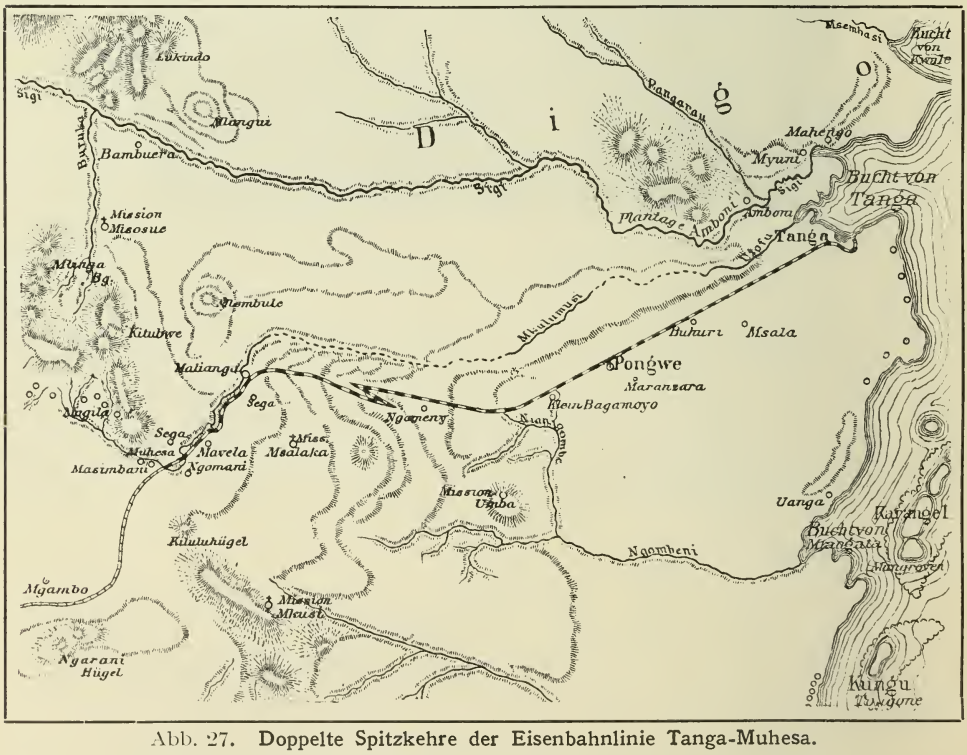


Abb. 27. **Doppelte Spitzkehre der Eisenbahnlinie Tanga-Muhesa.**

Chicla nicht weniger als fünf Stufen, wohl die Höchstzahl, die bis jetzt im Eisenbahnwesen vorkommt. Dabei liegt die vierte Steigungsstufe (bei D in Abb. 26) 174 m über der dritten (bei C), während die Wagerechte C-D nur 229 m mißt.

Die Spitzkehren sind als Kopfstation auszubilden. Die einfache Spitzkehre findet sich in Deutschland bei Elm an der Wasserscheide zwischen

Main und Fulda, ferner bei der Harzbahn Blankenburg-Tanne (Station Bast). Im Auslande kommen sie, außer in Peru, mehrfach vor, z. B. bei Chambrelien und Convers, zwei höchst einsam gelegenen Bergstationen der Neuenburger Jurabahn, bei Klosters, Station der Rhätischen Bahnen, in der oberen Reibungsstrecke der Vesuvbahn, in Indien usw.

Werden zwei Spitzkehren unmittelbar hintereinander eingeschaltet, so entsteht die doppelte Spitzkehre. Abb. 27*) zeigt eine solche Anordnung, wie sie unter anderem auf der mit 1 m Spur angelegten Usambarabahn unserer ostafrikanischen Kolonie vorkommt. Durch sie wird mit 40‰ (1 : 25) Steigung der Osthang des Gebirges überwunden.

Mehrfache Spitzkehren kommen in Deutschland nicht vor, wohl aber in Österreich (Klostergrab-Moldau), in Australien, in Asien bei der S. 24 schon genannten Darjeeling-Bahn, Abb. 28**), in Nord-***) und Südamerika. Eine ganz eigenartige Spitzkehrenanlage stand seinerzeit auf der Baltimore-Ohiobahn in Benutzung. Sie diente während des Baues des 700 m langen Board Tree-Tunnels zum Ersteigen der Wasserscheide in offener Strecke, um den Bahnbetrieb unabhängig vom Tunnel durchzuführen. Auf rund 700 m Horizontallänge lagen drei doppelte Spitzkehren und eine einfache Kehre, und zwar in teilweise sehr scharfen Krümmungen. Das Steigungsverhältnis betrug 40 bis 60‰. Die Gesamtlänge der Aushilfestrecke war 14,2 km bei rund 2 km Luftlinie zwischen den beiden Endpunkten. Abb. 29 zeigt (nach „Railroad Gazette“ 1874) den Lageplan aller sieben Kehren.

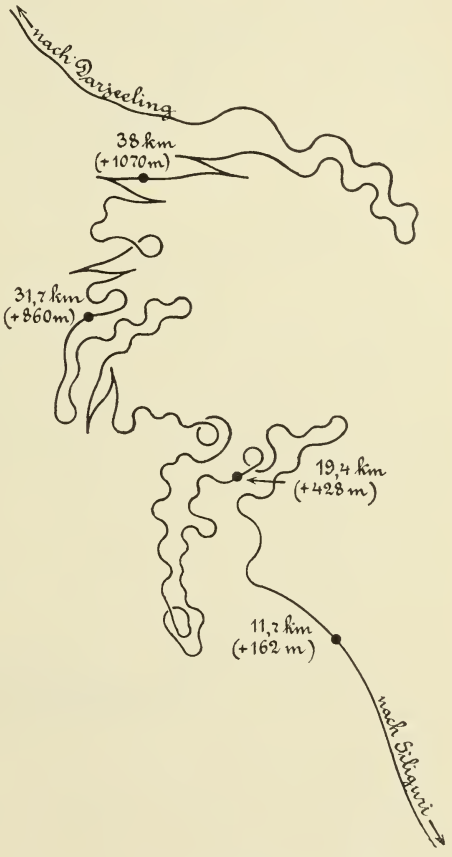


Abb. 28.
Doppelte Spitzkehren der Darjeeling-Bahn.

Aus gleichem Grunde wurde i. J. 1901 auf der mandschurischen Bahn (chinesischen Ostbahn) eine dreifache Spitzkehre†) angelegt, um die russischen Überlandzüge Moskau-Wladiwostok usw. vor und während des Baues des bei Station Chingan beginnenden 3 km langen Scheiteltunnels über den Chingan-Bergrücken zu führen. Mehrere Jahre hindurch schob die Lokomotive (bei der Fahrt nach Osten) den Zug über die unterste Stufe, zog ihn über die zweite, schob ihn sodann über die dritte, um ihn wieder über die vierte und darüber hinaus zu ziehen.

*) Centralblatt der Bauverwaltung.
Die Bahn ist bereits um 43 km weitergeführt bis Korogwe, so daß seit Anfang 1905 89 km in Betrieb stehen. Die 44 km lange Schlußstrecke Korogwe-Mombo wird zurzeit gebaut.

**) Blum, Z. f. Kleinbahnen, 1904, S. 714, desgl. Abb. 38 und 39.

***) Die Northern Pacificbahn überwand früher den Stampedepaß in der Sierra Nevada durch Spitzkehren. Sie unterfährt ihn jetzt in einem 330 m tiefer gelegenen und 3 km langen Tunnel.

†) Abb. im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1905, Ergänzungsheft, Tafel 69.

Auch für Dauerbetrieb ist die Doppelkehre mehrfach zur Anwendung gebracht, u. a. auf der Steilrampe der Guayaquil-Quinto Bahn, auf der vorgenannten Callao-Oroya Bahn usw. Abb. 30 zeigt ein solches Kehrenpaar. Dicht vor ihm bildet der Rimacfluß eine Reihe tosender Fälle, die beiderseits von hohen Felsen eingerahmt sind. Um die offene Kehrenlage zu gewinnen, mußten die Felsmassen im Tunnel unterfahren und der Fluß

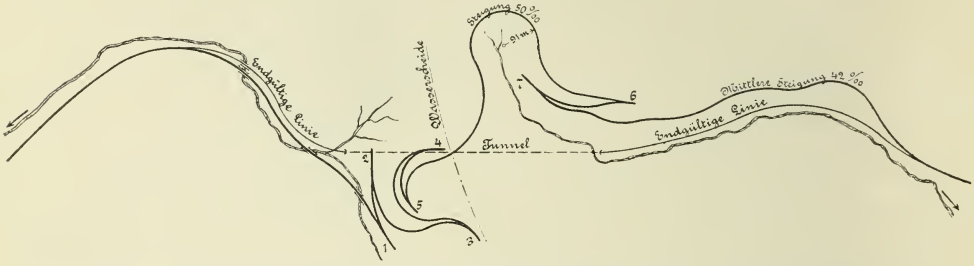


Abb. 29. Gruppe von sieben Spitzkehren auf der Baltimore- und Ohio Eisenbahn.

auf einer 48 m langen „Teufelsbrücke" 50 m über Wasserspiegel gekreuzt werden. Die Luftlinie A-B mißt 2,6 km, die Bahnstrecke 7,6 km.

Die doppelte Spitzkehre bietet den Vorteil, daß die vom Zuge rückwärts zu durchfahrende Strecke klein ausfällt und daß die Lokomotive nach Durchfahren der zweiten Kehre ohne weiteres wieder die Zugspitze bildet. Soll jedoch das abwechselnde Ziehen und Schieben des Zuges

Abb. 30. Doppelte Spitzkehre am Rimacfluß (Callao-Oroya Bahn).

vermieden werden, so muß an jeder Spitzkehre ein Umsetzen der Lokomotive erfolgen. Auf der Oroyabahn sind die Kopfstationen mit einer Drehscheibe ausgestattet, auf der die Zuglokomotive um 180° gedreht wird, so daß sie stets mit dem Schornstein voran den Zug befördert. Die Kopfstationen sind ein Übelstand. Sie verlangsamen nicht nur den Betrieb, sondern machen ihn auch unbequem und nicht ungefährlich. Für Gebirgsbahnen durchgehenden Verkehrs ist deshalb die Wendeschleife vorzuziehen.

3. Schleifen.

Man unterscheidet einfache und doppelte Schleifen. Die einfache Schleife hat große Ähnlichkeit mit dem Ausfahren kurzer Seitentäler und bedarf daher keiner Erörterung. Abb. 25 und 30 zeigen unter anderen auch eine solche Entwickelung.

Die doppelte Schleife beginnt in der Regel in einem stark ansteigenden Tale, da, wo die Linie nur noch wenig über der Talsohle oder dem Hochwasserspiegel liegt, wo sie also tiefer nicht mehr angeordnet, aber doch noch mit dem zulässig kleinsten Krümmungshalbmesser aus ihrer Richtung in die Umkehr abgelenkt werden kann. Diese Richtungsumkehr um 180° erfolgt je nach der Geländebildung in offener Führung oder durch einen Kehrtunnel. Die Bahnlinie zieht sich nun rückwärts, d. h. talabwärts, jedoch unter stetigem Steigen, bis sie an geeigneter Stelle, u. U. auch in einer Seitenschlucht, mittels stark gekrümmten Einschnittes oder Tunnels sich wieder um 180° wenden und in die ursprüngliche Richtung talaufwärts einbiegen kann. In dieser verläuft sie nun weiter, aber in wesentlich höherer Lage als in den beiden ersten Strecken. So liegt z. B. bei der zwischen den Punkten A und D 6,4 km langen Doppelschleife der Abb. 31 Punkt B 111 m höher als A und D wieder 110 m höher als C. Denkt man sich eine solche Schleife senkrecht durch eine Ebene durchschnitten, so trifft diese dreimal die Bahn. Bei der Fahrt durch eine Doppelschleife macht es einen eigentümlichen Eindruck, an gewissen Stellen des Tales drei Bahnlinien in ganz verschiedener Höhenlage zu erblicken. Fährt man gerade über den mittleren Schleifenzug, so sieht man hier und da die untere eben verlassene Gleisbahn und über sich den noch zu passierenden Bahnkörper. Wer eine solche Stelle ohne Eisenbahnkarte zum erstenmal befährt, kann sich den Zusammenhang der drei Linien nicht klar machen, da dieser in Tunneln und Seitenschluchten verborgen liegt. In Deutschland ist eine, der Abb. 31 ganz ähnlich gestaltete, nur schwächer geneigt verlaufende Doppelschleife auf der Ende der siebziger Jahre erbauten Strecke Eisenstein-Plattling (bayrische Staatsbahnen) zur Anwendung gekommen. Das Vorbild dazu gab die Schwarzwaldbahn.

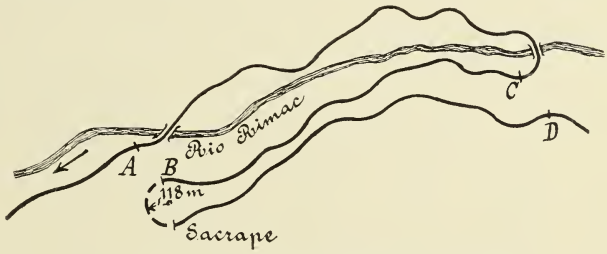


Abb. 31. Doppelte Schleife am Rimacfluß (Callao-Oroya Bahn).

a) Schleifen der Schwarzwaldbahn.

Die erste Doppelschleife finden wir auf der Mitte der sechziger Jahre in Angriff genommenen 149,2 km langen Schwarzwaldbahn Offenburg-Singen. Sie wurde hier gleich in einer so großartigen und wahrhaft genialen Weise — zweimal dicht hintereinander — zur Ausführung gebracht, daß sie berechtigtes Aufsehen in der ganzen Eisenbahnwelt erregt und zur Nachahmung in verschiedenen Erdteilen Anlaß gegeben hat. Abb. 32 zeigt den Lageplan dieser beiden in der Nähe der bekannten Triberger Wasserfälle gelegenen Schleifen. Die Steigung in ihnen beträgt fast durchweg 20‰ (1 : 50), der kleinste Krümmungshalbmesser 300 m. Da Täler und Schluchten tief in die steilen Hänge des Schwarzwaldes eingeschnitten sind, so hat man mit

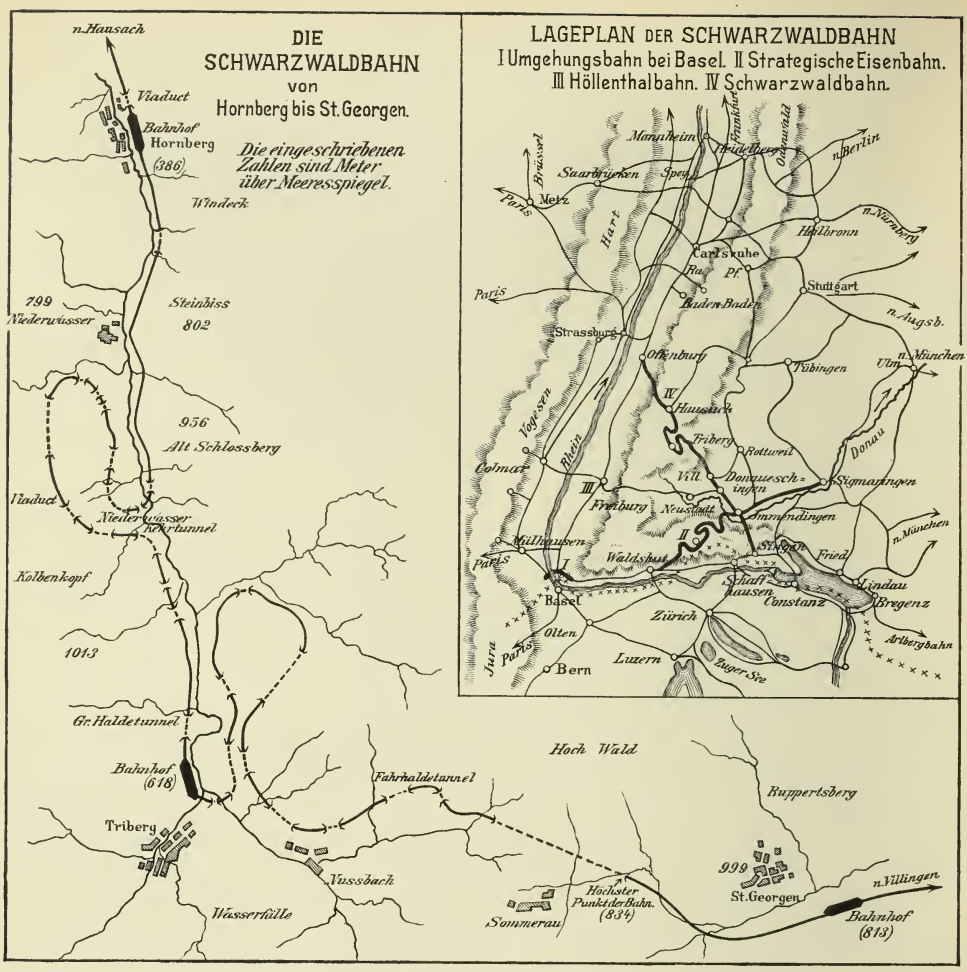


Abb. 32. Die Schwarzwaldbahn mit den Triberger Schleifen.

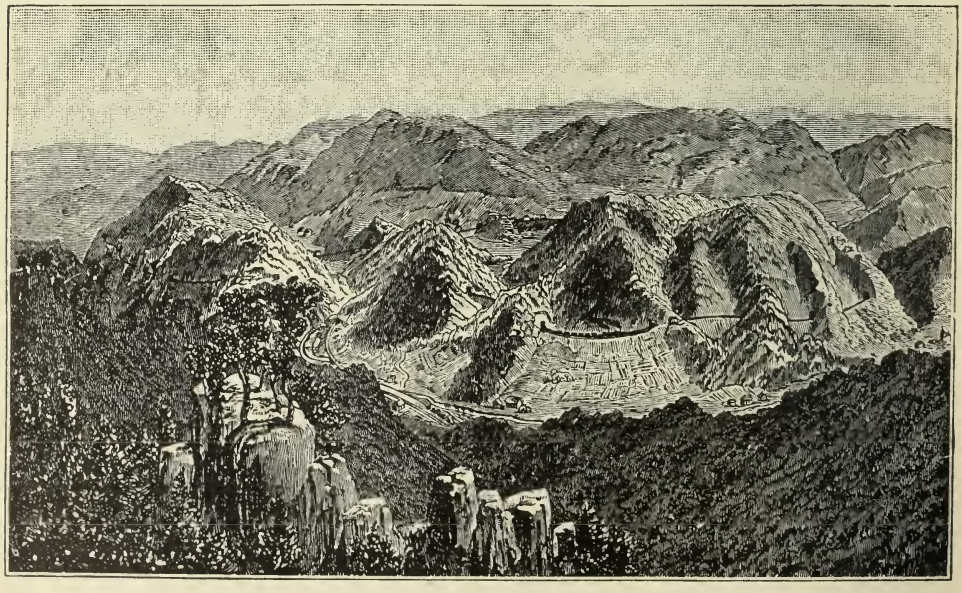


Abb. 33. Die Triberger Schleifen aus der Vogelschau.

Vorteil die Bahn mehr in die Berge hineinverlegt, hat dadurch viele kostspielige Talbrücken gespart, mußte dafür freilich recht viele Tunnel anlegen. Abb. 32 läßt diese meisterhaft erdachte Linienführung in dem schluchtenreichen Waldgebirge recht klar erkennen. Auf der nur 28,7 km langen Strecke Hornberg-St. Georgen finden sich nicht weniger als 34 Tunnel mit einer Gesamtlänge von 8,3 km, darunter der 1680 m lange Scheiteltunnel bei Sommerau, in welchem die Bahn die Wasserscheide übersetzt. Entworfen sind diese Schleifen von dem verstorbenen Baudirektor Gerwig. Ihm ist in Triberg, dem starkbesuchten Glanzpunkte des Schwarzwaldes, ein wohlverdientes Denkmal errichtet, ähnlich wie es Ghega auf dem Semmering, v. Etzel hoch oben auf dem Brenner erhalten hat.

b) Schleifen usw. der strategischen Bahn Immendingen-Waldshut.

Nicht weit von der Triberger Linie findet sich im südlichen Schwarzwalde eine Bahn, die in bezug auf künstliche Entwickelung in Deutschland ohnegleichen steht. Es ist das die im Jahre 1891 eröffnete sogenannte strategische Bahn, die, von Immendingen kommend, den Schwarzwald im

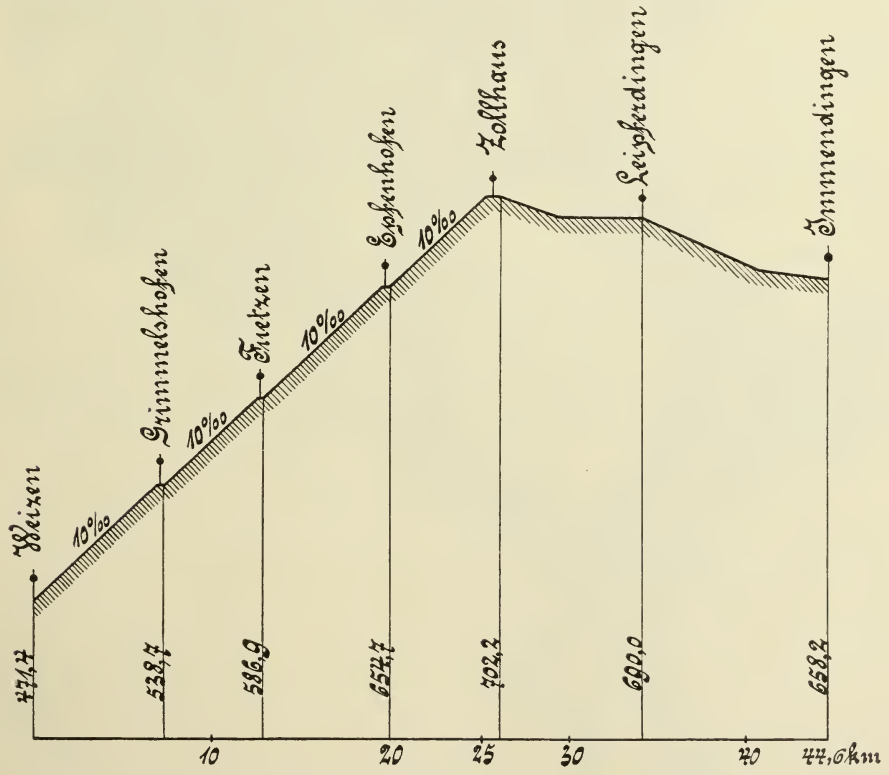


Abb. 34. Höhenplan der strategischen Schwarzwaldbahn.

Buchbergpaß überschreitet und bei Oberlauchringen nahe Waldshut in die alte Bahn Singen-Basel mündet. Diese Linie wurde im Interesse der Landesverteidigung vom Deutschen Reich und Baden gebaut, und zwar gleichzeitig mit der an das oberelsässische Bahnnetz angeschlossenen Umgehungsbahn bei Basel (I in Abb. 32) und der ihre östliche Fortsetzung bildenden Donautalbahn Immendingen bezw. Tuttlingen-Sigmaringen. Hierdurch werden sowohl aus der badischen Bahn Singen-Basel die in der Schweiz,

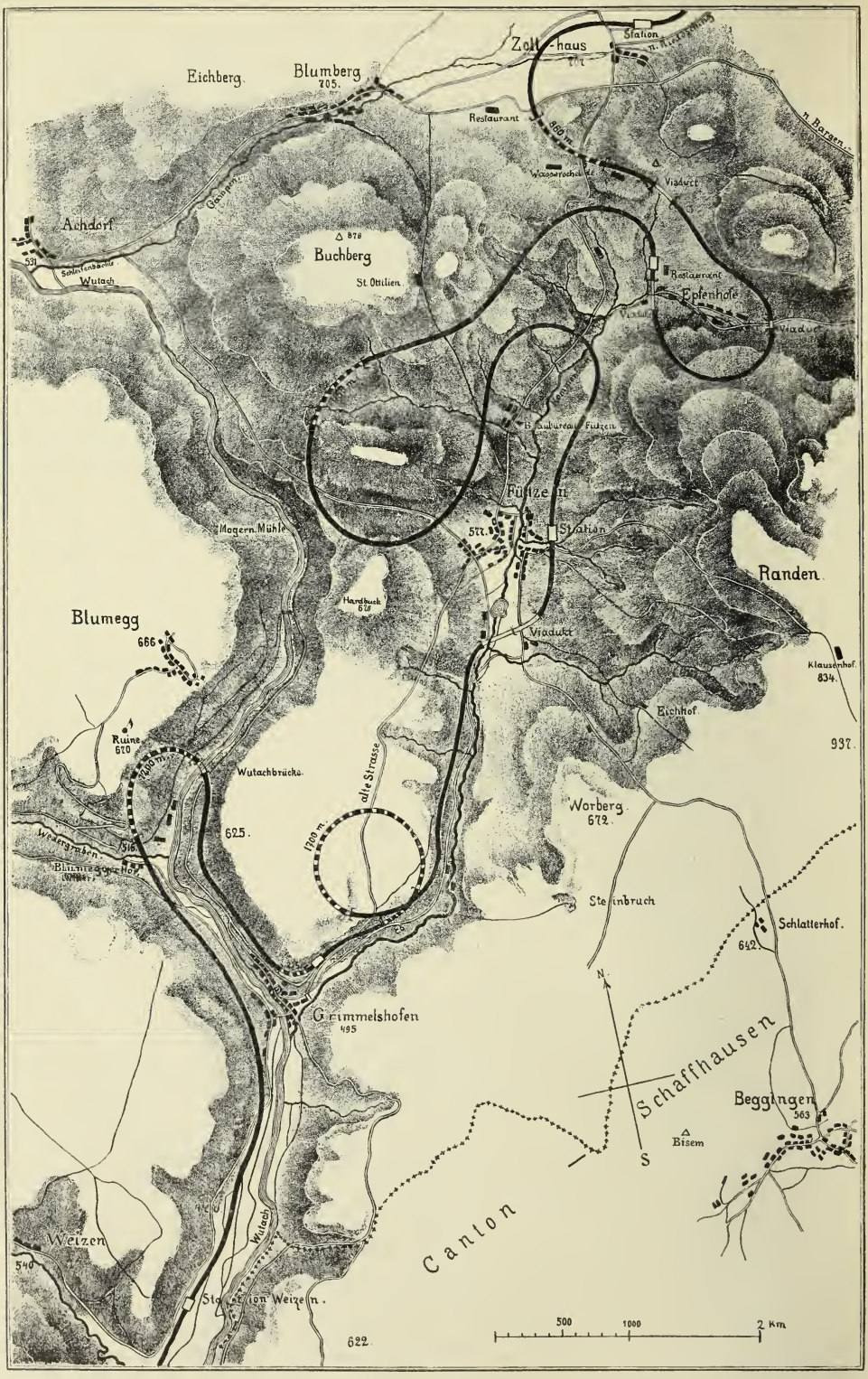


Abb. 35. **Lageplan der strategischen Schwarzwaldbahn (Abschnitt Weizen-Zollhaus).**
(Der 1205 m lange Wutach-Kehrtunnel unterhalb Blumegg hat einen Krümmungshalbmesser von 350 m.)

also in Kriegszeiten auf neutralem Gebiet belegenen und dann für deutsche Transporte geschlossenen beiden Strecken a) zwischen Singen und Waldshut, b) bei Basel, ausgeschaltet, als auch unmittelbare Verbindungen des südlichen Elsaß und Baden über Immendingen mit Ulm usw. geschaffen. Jene Landstriche sind auf die Weise in eine unmittelbare, nur deutschen Boden berührende Bahnverbindung mit dem übrigen Süddeutschland gebracht.

Die 44,6 km lange strategische Bahn, deren 20,4 km lange Anschlußstrecke Oberlauchringen-Weizen schon vorhanden war, hat einschließlich der beiden 26 km langen Neubaustrecken der Baseler Umgehungsbahn (Leopoldshöhe-Lörrach und Schopfheim-Säckingen) rund 35 Millionen Mark gekostet, die zum größten Teile vom Reich übernommen wurden. In militärischem Interesse wurde die Linie als Hauptbahn (eingleisig) mit einer Steigung nicht über 10‰ (1 : 100) und mit Gleisbogen nicht unter 350 m Halbmesser erbaut, so daß lange Militärzüge auf ihr befördert werden

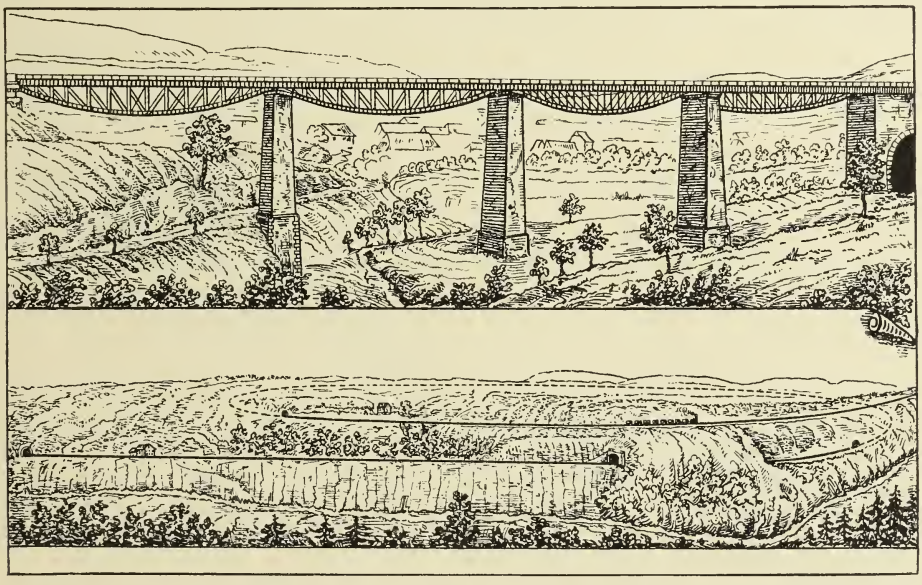


Abb. 36. Talbrücke und Tunnelschlinge der strategischen Schwarzwaldbahn.

können. Ihr bemerkenswertester Abschnitt ist die südliche Bergstrecke von Weizen (471 m ü. M.) nach Zollhaus (Paßhöhe, 702 m ü. M.), vergl. den Höhenplan in Abb. 34). Sie ist in der Luftlinie 10,2 km lang, mit einem Höhenunterschiede der beiden Endstationen von 231 m. Es ergibt dies eine durchschnittliche Steigung von 23‰ (1 : 43), wobei aber zu beachten ist, daß das Gelände an einzelnen Stellen erheblich stärker ansteigt. Um daher der Forderung der Landesverteidigung gerecht zu werden, mußte die Linie künstlich erweitert werden, was nach Abb. 35 durch mehrfache Schleifenbildungen, Ausfahren von Tälern und eine ausgedehnte Tunnelschlinge erreicht worden ist. Die Bahnlänge ist dadurch auf 25,6 km gewachsen, die Durchschnittssteigung auf 9‰ (1 : 111) gefallen. An größeren Kunstbauten waren auf dieser Strecke sechs Tunnel mit 4561 m und vier Talbrücken mit 769,4 m Gesamtlänge auszuführen. Abb. 36 zeigt nach „Engineering“ zwei größere Bauwerke. Das obere stellt den 153 m langen Talübergang bei Fützen dar. Seine Fischbauchträger liegen mit ihrer Fahrbahn 30 m über Talsohle. Das untere Bild zeigt die große Tunnelschlinge oberhalb der Station Grimmelshofen, vgl. *a*) auf folgender Seite.

c) Schlingen.

a) Tunnelschlingen.

Die Tunnelschlingen wendet man zweckmäßig da an, wo die Enge der Talschlucht oder die klimatischen Einflüsse die offene Entwickelung der Linie nicht gestatten. Je nach Geländebeschaffenheit und Erfordernis kann durch Wahl des Schlingendurchmessers ein größerer oder kleinerer Höhengewinn erreicht werden. Die Möglichkeit, den wie eine Schraubenlinie ansteigenden, stetig gekrümmten Tunnel noch lüften zu können, zieht allerdings die Grenze. Die Tunnelschlingen sind zuerst bei der Gotthardbahn unter der Bauleitung von Hellwag angewendet worden. Gleichzeitig wurde bei dieser auch die Schleifenbildung in einer einzig in der Welt dastehenden Großartigkeit für die Linienentwickelung benutzt. Wir

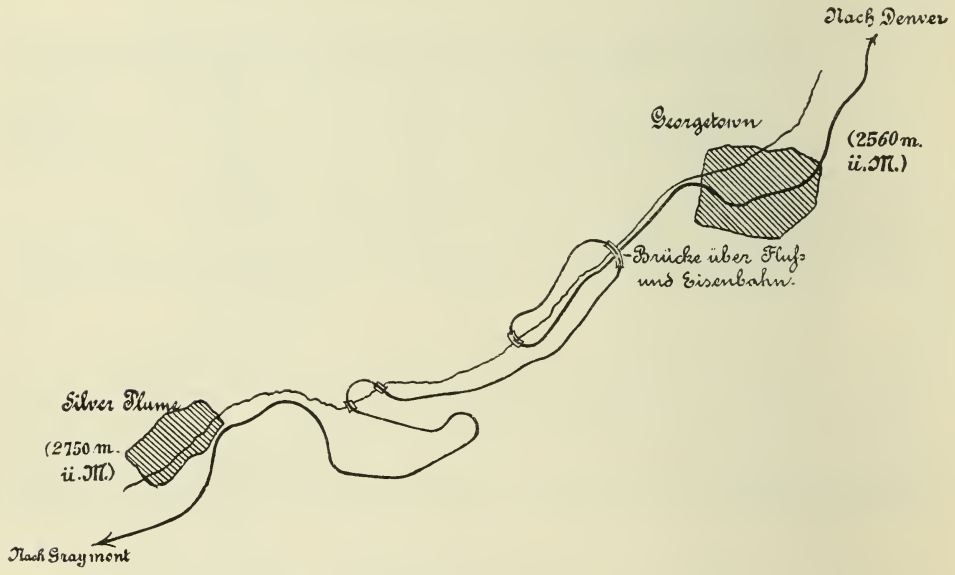


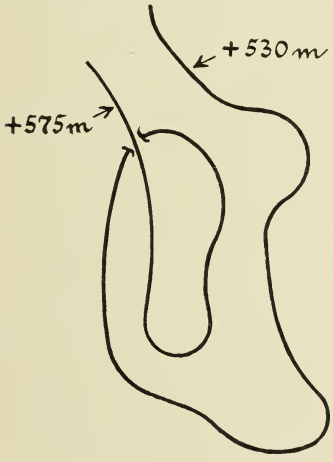
Abb. 37. Georgetown-Schlinge und Silver Plume-Schleife.

sehen auch hier wiederum, wie eine Bahn das Vorbild für die andere abgibt: Semmering und Brenner für die Schwarzwaldbahn, und diese bezüglich ihrer Schleifen für die Gotthardbahn, letztere wieder mit ihren Tunnelschlingen für die strategische Schwarzwaldbahn Weizen-Zollhaus und vor allem neuerdings für die Albulabahn.

Bei der genannten strategischen Bahn (Abb. 35) gestattete die natürliche Geländebildung oberhalb der Station Grimmelshofen keine offene Linienentwickelung, ein Seitental fehlte, man mußte sonach seitlich in den Berg hineingehen, d. h. die Linie durch einen spiralförmig gestalteten, stetig ansteigenden Tunnel führen. Nach Abb. 36 beschreibt die Bahn hier einen vollen Kreis, sie wird also um 360° abgelenkt. Ihr unterer Punkt liegt an dieser Stelle 22 m senkrecht unter dem oberen Gleiszuge. Es ist dieses die einzige Tunnelschlinge (Spiraltunnel), die das große deutsche Eisenbahnnetz aufzuweisen hat. Sie selbst ist auch die größte bis jetzt ausgeführte, beträgt doch ihr Durchmesser nicht weniger als 700 m. Von ihrem 2200 m langen Umfange liegen 1700 m im Tunnel.

β) Offene Schlingen.

Schlingen können auch in offener Bahnlinie zur Anwendung gebracht werden. Je nach der Geländebildung wird dann an der Kreuzungstelle entweder eine Brücke für den oberen Gleiszug errichtet oder ein kurzer Tunnel für den unteren. Eine offene Schlinge mit Kreuzungsbrücke findet sich u. a. auf der Mexikanischen Zentralbahn und auf der Union Pacificbahn (Denver-Gulflinie) in Colorado. Abb. 37 zeigt die letztere Ausführung zugleich in Verbindung mit einer bemerkenswerten Schleife. Sie liegt in der Strecke Georgetown (2750 m ü. M.)-Silver Plume (2560 m ü. M.). Beide Bergstädte sind in der Luftlinie etwa 2400 m von einander entfernt, ihr Höhenunterschied mißt rund 190 m. Eine geradlinige Eisenbahnverbindung wäre mit einer Steigung von 80‰, also nur mittels Zahnstange, möglich gewesen. Da die Anschlußbahnen aber als Reibungsbahnen ausgeführt sind, so sollte dieses dem Durchgangsverkehr dienende Stück in gleicher Weise betrieben werden. Es gelang durch eine höchst eigenartig



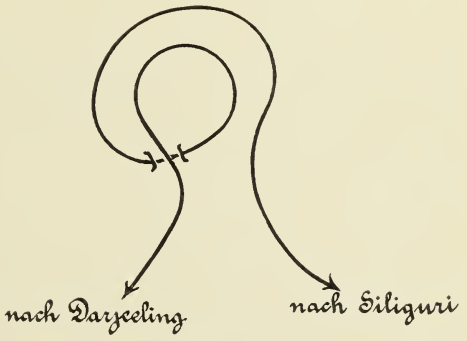


Abb. 38 u. 39. **Offene Doppelschlingen der Darjeelingbahn.**

durchgeführte Entwickelung der Linie, wodurch freilich die Gleislänge auf 6400 m angewachsen ist, die Steigung aber auf 30‰ beschränkt wurde. Die Talbrücke am Schlingenschluß liegt in einer 95 m-Krümmung, dabei 27,5 m über Wasser und 23 m über dem unteren Gleiszuge.

Noch bemerkenswerter erscheint die offene Doppelschlinge, wie sie zweimal auf der Darjeelingbahn (61 cm Spur) zur Ausführung gebracht ist, Abb. 38 und 39. Hier liegt die Bahn in vier Stufen übereinander, die vierte Stufe (Abb. 38) 45 m über der ersten. Der Übergang von der Außen- zur Innenschlinge erfolgt mittels eines kurzen Tunnels.

d) Schleifen und Schlingen der Gotthardbahn.

Die Gotthardbahn hat durch ihren kühnen Entwurf und ihre ungemein schwierige Bauausführung, namentlich auch bei Herstellung des 15 km langen Haupttunnels, in der ganzen Welt, nicht bloß in technischen Kreisen, berechtigtes Aufsehen erregt. Sie bildet einen unvergänglichen Merkstein in der neueren Geschichte des Eisenbahnwesens und soll daher auch hier in ihren wichtigen Neuerungen kurz bepsrochen werden.

Die Gotthardbahn ist mit einer höchsten Steigung von 26‰ (1 : 40) durch das Reußtal und mit einer solchen von 27‰ (1 : 37) südlich vom großen Tunnel durch das Tessintal hindurchgeführt worden. Nun steigt

aber das Reußtal aufwärts mit 30 bis 40‰ und selbst 68‰ an, also wesentlich stärker als die Bahnlinie. Infolgedessen schneidet die letztere mehrfach die Talsohle dicht über der Hochwasserlinie an. So liegt sie oberhalb Gurtnellen, am sogenannten Pfaffensprung, einer der engsten Stellen der Reuß, die hier einen 30 m hohen Sturz bildet, über den der Sage nach ein wohlbeleibter Mönch mit einer hübschen Älplerin im Arm gesprungen sein soll, nur noch 10 m über dem Wasser. Bei der starken Talsteigung blieb hier nichts anderes übrig, als die Linie künstlich zu entwickeln. Zu dem Zwecke ist nach beistehender Tafel am Pfaffensprung eine 2130 m lange Tunnelschlinge mit 280 bis 500 m Halbmesser angelegt, die in wagerechter Richtung von der Reuß abgemessen, 700 m tief in das Gebirge eindringt. Durch den mit 23‰ ansteigenden Kehrtunnel sind 34 m Höhe gewonnen, wozu noch 17 m durch die mit 26‰ ansteigende offene Strecke bis zu dem senkrecht über der unteren Tunnelmündung gelegenen Gleispunkte kommen, so daß durch diese Schlinge 51 m an Höhe gewonnen wurden. Es konnte somit die Bahnlinie von hier aus ungefähr 3 km in dem Tal weiter aufwärts geführt werden, ehe sie bei Wattingen oberhalb Wasen dessen Sohle wieder nahezu erreichte. In dieser ihrer tiefsten Lage überschreitet sie die Reuß noch eben über Hochwasser.

Eine Schlinge hätte hier zur Weiterführung nicht genügt oder bei größerer Ausdehnung Schwierigkeiten für die Lüftung bereitet, es mußte deshalb zur Doppelschleife übergegangen werden. Sie beginnt beim Reußübergang, 895 m über dem Meeresspiegel, mit dem 1090 m langen Wattinger Kehrtunnel, übersetzt 23 m höher wieder die Reuß, kehrt am linken Ufer in Richtung auf Wasen zurück und unterfährt mittels Kehrtunnels (1095 m lang) den Leggistein, darin 25 m sich erhebend. Nunmehr zieht sich die Bahn oberhalb der Station Wasen am Abhang nach Göschenen hin, wobei sie in dem 1563 m langen Naxbergtunnel drei besonders gefährliche Lawinentäler unterfährt. In der Schleife kommen noch fünf kleinere Tunnel vor. Die Krümmungshalbmesser der beiden letztgenannten Kehrtunnel betragen 300 m. Die Tafel läßt die Längen- und Höhenverhältnisse klar erkennen. Die den einzelnen Tunnelmündungen beigesetzten Zahlen bedeuten deren Höhenlage über dem Meeresspiegel.

Die Wasener Schleife, durch die (von der unteren Mündung des Pfaffensprungtunnels bis zu der in der Geraden 3 km entfernten des Naxbergtunnels gerechnet) 256 m Höhe gewonnen werden, ist eine der großartigsten und am genialsten angelegten Strecken im neueren Eisenbahnbau. Außer der Reuß übersetzt sie hier dreimal die in tiefer Schlucht wildschäumende Maienreuß auf hochgelegenen Brücken. Die mittlere hiervon, wohl jedem Touristen der Gotthardstraße durch ihre malerische Wirkung bekannt, liegt 79 m über Wasser und ist 65 m lang.

Im Gegensatz zu den Schwarzwaldschleifen sind hier alle drei Stufen in denselben Talhang übereinander eingeschnitten. Dreimal geht die Fahrt an der auf einem Bergkegel thronenden Wasener Kirche vorbei, nachdem sie zuvor durch diesen Kirchberg mittels eines 300 m langen Tunnels ihren Weg genommen hat. Bald erblickt man die Kirche auf der rechten, bald auf der linken Seite, bald vor sich, bald hinter sich, anfangs hoch oben auf dem Berge, zuletzt tief unten im Tal. Der Reisende glaubt kaum von der Stelle zu kommen. Da die Kehren in den finsteren Tunneln liegen, so erscheint die Rundfahrt um den Kirchberg dem Unkundigen noch rätselhafter. Ist man schließlich auf der obersten Stufe am Dorfe Wasen vorbei, so sieht man unter sich die eben durchfahrenen Strecken und erkennt den Zusammenhang. 112 m tiefer liegt die alte Gotthardstraße, die zuvor vom Zuge gekreuzt wurde. Auch derjenige, der wieder-

Abb. 40. **Die Doppelschlinge der Gotthardbahn in der Biaschinaschlucht aus der Vogelschau.**
(Nach einer Aufnahme der Gesellschaft „Photoglob“ in Zürich.)

holt diese Bahnlinie durchfährt, staunt immer aufs neue über die Eigenart der Anlage, bis nach kurzer Weiterfahrt der nahezu 15 km lange Riesentunnel von Göschenen nach Airolo neuen Stoff zu solchen Betrachtungen liefert und die dann folgenden, in ungemein großartiger Hochgebirgswelt gelegenen Tunnelschlingen der Südrampe ihm nochmals vollste Überraschung bereiten. Sind doch hier im Tessintal vier Kreisschlingen zur Ausführung gebracht: je eine bei Faido und Dazio Grande und zwei in der engen, steilen Biaschinaschlucht. In dieser bilden sie sogar eine Doppelschlinge, so dicht sind die zwei neben- und übereinander gelagert — eine Riesenwendeltreppe gleichsam darstellend, über die der Weltverkehr seinen Weg nimmt, vgl. die Tafel. Abb. 40 zeigt die wilde Tessinschlucht mit den offenen Strecken der Doppelschlinge.*) Durch diese vier Schlingen wird das Tessintal in ebenso vielen Stufen nacheinander genommen, während im Reußtal bei Wasen außer der Pfaffensprungschlinge, wie oben erörtert, drei Höhenstufen nebeneinander angeordnet liegen. Der durch jede der fünf Schlingen erzielte Höhengewinn beträgt 35 bis 50 m.

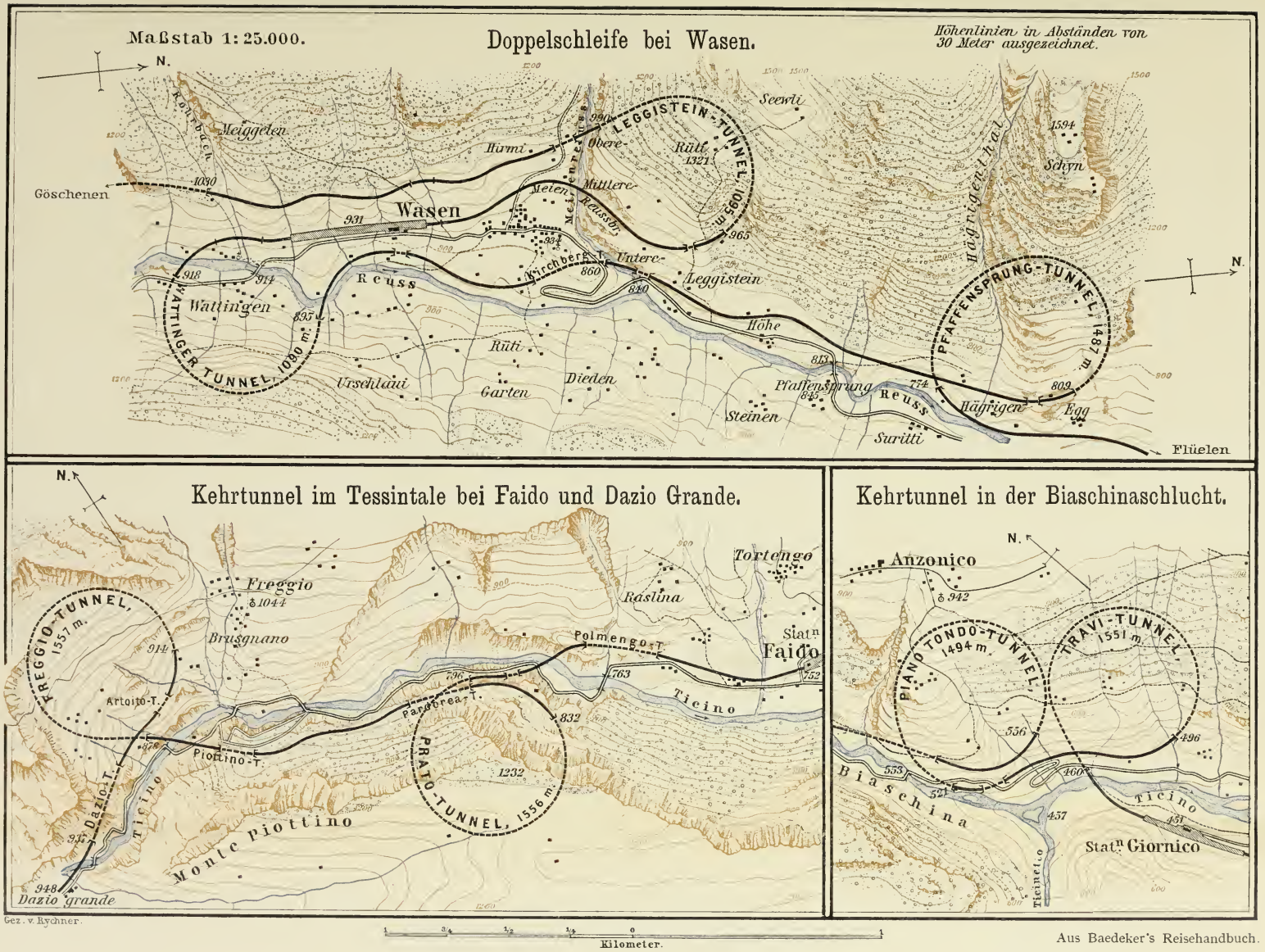
An Kunstbauten ist die Gotthardbahn überaus reich. Ein Sechstel von ihr liegt in Tunneln und Galerien, deren 65 Stück mit einer Gesamtlänge von 42 km vorhanden sind, d. i. mehr als die Hälfte der Länge aller deutschen Bahntunnel. 1046 Fluß- und Talbrücken, Straßenüberführungen und Durchlässe mußten hergestellt werden; kein Wunder bei den zahlreichen Tälern, Schluchten und Wasserläufen, die durchschnitten wurden. Und welche Summe von Arbeit und Kapital liegt in den vielen Nebenbauten begraben, die sich dem Auge des Reisenden meist entziehen! Da waren mächtige Schuttkegel und Wildbäche zu unterfahren, da mußte die Bahn gegen Steinstürze und Lawinen, gegen Eisblöcke und Baumstämme durch Galerien, Mauern und sonstige Schutzbauten gesichert, angeschnittenes Felsgestein durch Mauerklötze abgefangen werden usw.

Die höchste Stelle (1154 m über dem Meeresspiegel) liegt in der Mitte des großen Tunnels, welcher nach Göschenen (Nordseite) zu mit 5‰, nach Airolo mit 2‰ abfällt. Dieses Gefälle nach beiden Enden hin ist wegen der Förderung während des Tunnelbaus und namentlich wegen der Wasserabführung erforderlich. Der Tunnel ist bis auf ein kurzes Stück am Südende geradlinig durchbohrt. Sieben Jahre und fünf Monate waren die Mineure auf beiden Seiten in angestrengtester Arbeit tätig gewesen. Als dann endlich am 29. Februar 1880 der Durchschlag tief im Gebirge — 7800 m von der Nordmündung entfernt — erfolgte, da wichen die Mittellinien der Tunnelhälften sowohl in der Breite wie in der Höhe nur wenige Zentimeter voneinander ab, ein gewiß glänzendes Ergebnis und ein tadelloses Zeugnis sowohl für die sorgfältige trigonometrische Vermessung der Tunnellinie, als auch für die genaue Festlegung der Achse im Tunnelinnern.

Am 1. Juni 1882, nach zehnjähriger Bauzeit, konnte die Gotthardbahn dem Verkehr übergeben werden. Ihr damals 240 km langes Netz — Immensee-Chiasso und zwei Abzweigungen bei Bellinzona — hat einschließlich Ausstattung 180 573 000 Mark gekostet, das macht 752 386 Mark für das Kilometer. Zu dieser Summe haben die drei an der Bahn interessierten Staaten 95,2 Mill. Mark als Zuschuß à fonds perdu beigetragen, und zwar:

Deutschland	24	Millionen Mark.
Schweiz	24,8	,, ,,
Italien	46,4	,, ,,

*) Der Zusammenhang der Gleisstrecken in der Abb. 40 wird ohne weiteres klar, wenn man den auf der Tafel dargestellten Lageplan der „Kehrtunnel in der Biaschinaschlucht“ aus der oberen linken Ecke betrachtet. Die offenen Strecken sind als starke, volle Linien gezeichnet, die Tunnel als gestrichelte.



Linienentwicklung der Gotthardbahn durch Schleife und Schlingen.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Das übrige ist durch Ausgabe von Aktien und Schuldscheinen aufgebracht worden. Die Gotthardbahn ist in den letzten Jahren mit einem weiteren Kostenaufwande von 30 Millionen Mark zweigleisig ausgebaut und von Immensee nach Luzern erweitert worden. Wegen der Kostenersparnis war die Bahn anfänglich nur eingleisig hergestellt worden. Der Einbau des zweiten Gleises begegnete besonderen Schwierigkeiten, zumal da er ohne Störung des Betriebes bewirkt werden mußte. Nur der große Tunnel war von Haus aus für zwei Gleise ausgebrochen worden.

e) Schleifen und Schlingen der Albulabahn.

Die Schleifen- und Schlingenbildung der Gotthardbahn wurde zwei Jahrzehnte später durch Hennings bei der Linienführung der Albulabahn von Thusis nach St. Moritz (Engadin) in ganz ähnlicher, nur noch gedrängterer Art verwertet. Hier galt es zunächst, zwischen Filisur (1083,5 m ü. M.) und dem 7,5 km entfernten Bergün (1375,6 m u. M.) einen Höhenunterschied von 292 m mit der zulässigen größten Steigung von 35‰ auszugleichen. Es gelang dies durch Einschalten einer 1200 m langen Schlinge, wovon 736 m im Spiraltunnel liegen. Kurz vor Filisur wird ein Höhengewinn erzielt durch Ausfahren eines Seitentales (Landwasserschlucht), wobei die Kehre durch eine steinerne, 136 m lange und 65 m über Flußsohle sich erhebende Pfeilerbrücke (sechs Öffnungen)*), sowie durch einen sich am letzten Brückenwiderlager unmittelbar anschließenden 217 m langen Tunnel gebildet wird. Beide Bauwerke liegen nicht nur in einer Steigung von 20‰, sondern auch in einem Bogen von nur 100 m Halbmesser (vergl. auch S. 38).

Der Glanzpunkt der Linienführung liegt zwischen Bergün und der nahe der Nordmündung (1792 m ü. M.) des 5866 m langen Albulatunnels gelegenen Ortschaft Preda. Das in gewaltiger Stufe steil ansteigende Tal zeigt hier auf nur 6,5 km Länge einen Höhenunterschied von 416 m. Seine Überwindung mit der maßgebenden Steigung von 35‰ erfordert aber 12 km, folglich mußte die Bahn hier um 5,5 km künstlich verlängert werden. Es geschah das einmal durch eine Doppelschleife gleich hinter Bergün und sodann durch eine Gruppe von Tunnelschlingen unweit Preda.

Die Doppelschleife bei Bergün ist auf besonderer Tafel dargestellt; sie ist ungefähr halb so lang wie die Wasener Anlage. Da der kleinste Krümmungshalbmesser nur 120 m beträgt (Meterspur!), so vollzieht sich bei der Schleifenfahrt der Wechsel in der Szenerie, deren Mittelpunkt der Kirchturm von Bergün bildet, in schneller Folge und stellt an den Orientierungssinn der Reisenden noch höhere Ansprüche als die Fahrt bei Wasen. Hinter der Schleife liegt die Bahn 150 m über Talsohle inmitten einer wildromantischen Hochgebirgswelt, von deren Höhen die Schneefirnen grüßen, aus deren Tiefe die Albula schneeweiß hervorleuchtet.

Die Tunnelschlingengruppe zwischen Muot und Preda ist ebenfalls auf der Tafel**) dargestellt. Viermal wird hier auf 1 km Tallänge die Albula mittels bogenreicher Talbrücken übersetzt. Einzig im Eisenbahnwesen ist die zur Ausführung gebrachte doppelte Tunnelschlinge, die hier im Gegensatz zu dem unter d) besprochenen Schlingenpaar in der Biaschinaschlucht senkrecht übereinanderliegen. Ihr Zusammenhang wird vermittelt durch eine offene, den jenseitigen Uferhang des Flusses benutzende Kehre.

*) Über die eigenartige Bauausführung dieser Talbrücke in der engen und wilden Landwasserschlucht vergl. näheres in „Technisches von der Albulabahn", Abschnitt II: Gewölbte Brücken. Bearbeitet von der Redaktion der Schweiz. Bauzeitung. 1904.

**) „Technisches von der Albulabahn", Abschnitt I: Die neuen Linien der Rhätischen Bahn. Von Hennings. 1904.

Ein großer Teil dieser Strecke hat gegen Lawinen und Steinstürze gesichert werden müssen. Es sind zu dem Zwecke Schneegalerien angeordnet und mit einem Kostenaufwande von rund 120 000 Mark Schutzwehren bis zu 600 m über Schienenhöhe an den Berghängen aufgerichtet worden. Die Albulabahn ist 62 km lang, 16 km davon liegen in Tunneln, 3 km auf Brücken; die Baukosten einschließlich Ausrüstung betragen rund 25 Millionen Frs. Eine Fahrt auf ihr gewährt hohen Reiz und zwingt Techniker wie Laien zur Bewunderung dieser Ingenieurleistung.

f) Alpentunnel und Höhenlage der Gebirgsbahnen.

Schließlich sei noch der vier großen Tunnel der europäischen Alpenbahnen kurz gedacht. Die Fortschritte, die in ihrem Bau (Zeit und Kosten) zu verzeichnen sind, läßt nachstehende Übersicht klar erkennen.

Name des zweigleisigen Tunnels	Bauzeit	Durchschlag	Länge in Metern	Durchschnittl. tägl. Bohrleistung beider Seiten in Metern	Baukosten in Mark für den ganzen Tunnel	Baukosten in Mark für das lfd. Meter	Art der Tunnelbohrung
Mont Cenis	1860—1871	26./XII. 1870	12 847*)	3,0	60 750 000	4730	Druckluft
St. Gotthard	1872—1881	29./II. 1880	14 998	5,2	48 390 000	3226	Druckluft
Arlberg . .	1880—1884	19./XI. 1883	10 247,5	8,2	32 980 000	3218	Ostseite: Druckluft, Westseite: Druckwasser
Simplon zwei eingleisige Tunnel	1898 bis 1905**)	24./II. 1905	19 803	8,25***)	62 896 000	3176	Druckwasser

Der Mont Cenistunnel ist der erste durch Maschinenkraft (Luftbohrmaschine) erbohrte Tunnel. Bis dahin kannte man nur die viel weniger leistungsfähige und weit kostspieligere Handbohrung. Der Gotthardtunnel wurde mit der verbesserten Ferrouxschen Stoßbohrmaschine (Druckluft) hergestellt und zeitigte nach vorstehender Übersicht ein wesentlich günstigeres Ergebnis. Während seines Baues wurde auch am Pfaffensprungtunnel (S. 68) zum ersten Male die von Brandt (Hamburg) erfundene Druckwasser-Drehbohrmaschine erprobt, die beim nächsten großen Tunnel, dem durch den Arlberg, zur Herstellung der einen Tunnelhälfte benutzt wurde, während auf der anderen Ferrouxsche Maschinen arbeiteten.

Der zwecks Schaffung einer unmittelbaren Eisenbahnverbindung der Westschweiz mit Italien im August 1898 in Angriff genommene Simplontunnel [zwischen Brig (Wallis) und Iselle (Oberitalien)] ist nur mit der Brandtschen Wasserdruckmaschine vorgetrieben worden. Brandt, im Verein mit dem Ingenieur Brandau (Cassel) und den Schweizer Ingenieuren Locher und Sulzer, Unternehmer dieses längsten aller Tunnel, vertraute so sehr auf die Leistungsfähigkeit seiner Bohrmaschine, daß er den Vertrag einging, den fast 20 km langen Simplontunnel in $5^1/_2$ Jahren zu einem Betrage von rund 2800 Mark für das laufende Meter Tunnellänge fertig zu stellen. Diese ungewöhnlich niedrigen Zahlen, die eine tägliche Bohrleistung von 5,5m auf jeder Seite, also 11m Gesamtvortrieb voraussetzten†), wären auch möglich gewesen, wenn der Simplon nicht fortwährend mit

*) Im Jahre 1880/81 wurde die nördliche Tunnelmündung zwecks Sicherung der Anschlußstrecken gegen Steinstürze verlegt und das bedrohte Bahngleis durch eine neue Tunnelstrecke ersetzt. Dadurch erhielt der Tunnel eine Gesamtlänge von 13 680 m.

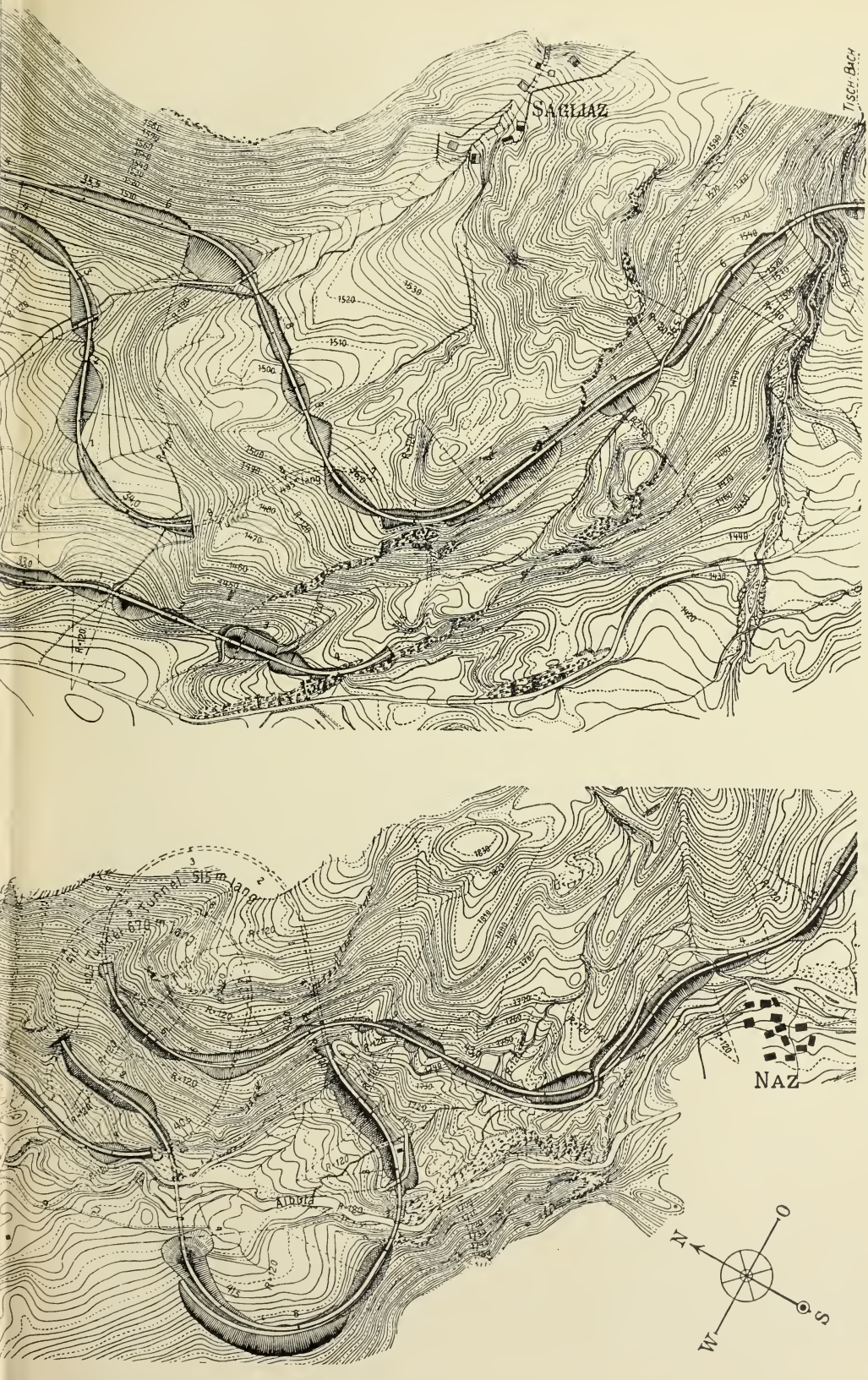
**) Die Bauzeit bezieht sich auf einen Tunnel und einen Parallelstollen, die Bausumme (ohne Oberbau, Bauzinsen usw. = 77 648 862 Frs. nach der Einweihungsfestschrift, Mai 1906) dagegen auf beide fertige Tunnel.

***) Die Durchschnittsleistungen beziehen sich auf 19 729 m Stollenlänge und auf die ganze Bauzeit bis zum Durchschlag (2392 Tage), also einschl. aller Ruhepausen vor Ort.

†) Die Durchschnittsleistung der Maschinenbohrung, auf den Arbeitstag bezogen, war = 10,63 m (nach amtlichem Bericht).

Linienentwicklung der Albula

Ma



hn durch Schleife und Schlingen.
b 1:7500.

unvorhergesehenen Hindernissen und nicht vermuteten Schwierigkeiten aller Art in seinem Innern überrascht hätte, die wiederholt zu unfreiwilligen Ruhepausen vor Ort zwangen. Beispielsweise konnte in den drei ersten Monaten des Jahres 1902 auf der Südseite ein Vortrieb von nur 15 m erzielt werden, statt der vertraglichen 425 m. Man rechnete in der Nähe der Tunnelmitte auf eine Wärme von 40 bis höchstens 42°, stieß jedoch auf der Nordseite schon 4 km davor auf diese Gesteinstemperatur, die nach Abb. 41*) dann 2 km vor der Mitte auf 55° und 1 km davor auf 56° (!) anwuchs, dann aber wieder abnahm, um 1,5 km hinter der Mitte auf 40° zu sinken. Sodann hatten die Unternehmer auf Grund eingeholter geologischer Gutachten geglaubt, daß die zu durchfahrenden Gesteinschichten

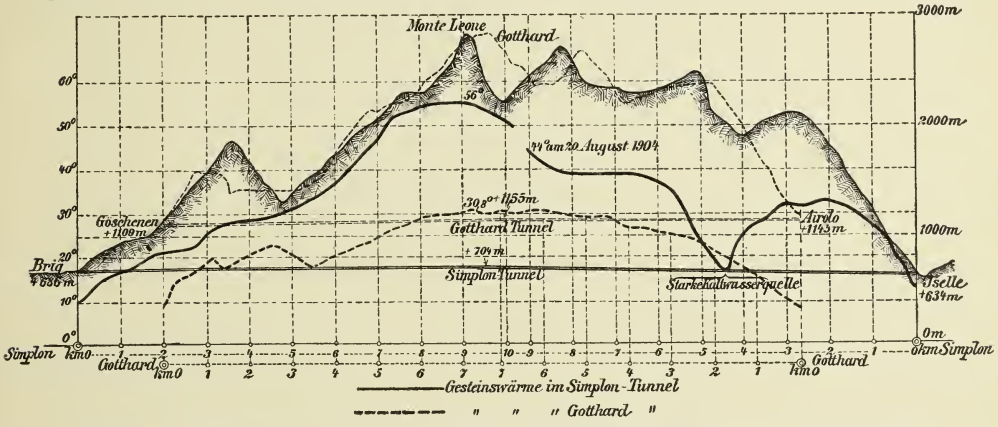


Abb. 41. **Gesteinswärme während des Baus des Simplon- und des Gotthardtunnels.**

nicht stark und andauernd wasserführend, auch für die Maschinenbohrung günstig geschichtet sein würden.**) Das Gegenteil war der Fall. Starke

*) Abb. 41, die ich der Freundlichkeit der Unternehmung in Iselle bei meiner letzten Tunnelbesichtigung im August 1904 verdanke, zeigt die Wärmelinie zugleich mit derjenigen des Gotthardtunnels. Die für beide Tunnel ebenfalls eingezeichnete Gebirgsüberlagerung, die bekanntlich für die Gesteinswärme maßgebend ist — man rechnete beim Simplon für je 50 m Überlagerung auf eine Wärmezunahme von etwa 1° C — ist beim Simplon nur etwa 440 m größer als beim Gotthard. Die wesentlich höhere Wärme — 56° statt 42° — führt man jetzt darauf zurück, daß im Simplontunnel die Gesteinschichten zumeist sehr flach geneigt liegen, wohingegen sie am Gotthard steil anstehen und in senkrechter Ebene fächerartig verlaufen, was den Wärmedurchgang in die Außenluft erleichtert. Auch zeichnet sich der Simplonabschnitt, in dem die höchste Gesteinswärme auftritt, durch große Trockenheit aus. Im Gegensatz dazu fiel die Gesteinswärme auf der Südseite — zwischen km 4 und 5 — wo starke kalte Dauerquellen angeschlagen wurden, auf rund 16°.

Nachstehende Übersicht zeigt die höchste Überlagerung und die größte Gesteinstemperatur der vier großen Tunnel.

Tunnel	Höchste Überlagerung Meter	Größte Gesteinstemperatur
Arlberg	720	18,5
Mont Cenis	1654	29,9
Gotthard	1706	30,8
Simplon	2143	56

Arlberg und Simplon zeigen hiernach fast genau gleiche Verhältniswerte, ebenso Mont Cenis und Gotthard.

**) Vgl. hierüber: 1. Sulzer-Ziegler, Der Bau des Simplontunnels in Mitteilungen der naturwissenschaftlichen Gesellschaft in Winterthur 1904, V. Heft, S. 247. 2. Prof. Dr. Heim, Über die geologische Voraussicht beim Simplontunnel in Eclogae Geologicae Helvetiae 1904, S. 365 (Antwort auf 1.).

Wasserquellen in reicher Zahl und unter hohem Drucke stehend wurden auf der Südseite angeschlagen, darunter Quellen mit 46° heißem Wasser. Der Wasserandrang betrug im Sommer bis zu 1200 l in der Sekunde, das ist fast viermal soviel wie zur schlimmsten Zeit im Gotthardtunnel.*) Als man dann im Sommer 1903 auf der Nordseite über den Scheitelpunkt hinausdrang und im Gefälle bohrte, wurden auch hier heiße Quellen bis zu 48° und von solcher Ergiebigkeit angeschlagen, daß Ende Mai 1904 der Vortrieb wegen zu starker Erwärmung der Stollenluft eingestellt und beide Nordstollen abgeschlossen werden mußten. Die Schichtung war teilweise sehr flach, daher ungünstig für die Bohrarbeiten.

Endlich traf man auf der Südseite auf eine 44 m lange Druckstelle, deren Durchfahrung und spätere Aufweitung viel Mühe, ungewöhnliche Sicherungsmittel und hohe Kosten (fast 800 000 Mark) verursachte. Die anfangs dicht nebeneinander eingebauten Stützhölzer von 400 mm Durchmesser wurden sehr bald durch den Gebirgsdruck zerknickt und zersplittert, daher durch starke Eisenrahmen aus 400 mm hohem I-Eisen ersetzt, die in der Längsrichtung teils durch Holz, teils durch Beton ausgekleidet wurden. Auch diese Eisensteifen sind vielfach zerbrochen und stark verbogen worden. Die spätere endgültige Ausmauerung dieser Stelle mit 1,67 m dickem Decken- und 2,5 m starkem Sohlgewölbe weist denn auch 52,1 qm (!) Querschnittfläche auf im Gegensatz zu 5,7 qm Fläche in der regelrechten Tunnelstrecke mit 0,35 m dickem Deckengewölbe.

Wäre der Simplontunnel nach früherer Art, also zweigleisig ausgebrochen worden, so hätten die Arbeiten wahrscheinlich endgültig eingestellt werden müssen. Dank dem neuen, zuerst von Brandt vorgeschlagenen Verfahren, wonach zwei Einzeltunnel gebaut wurden, die in 17 m Abstand parallel nebeneinander herlaufen und die alle 200 m durch einen Querschlag verbunden wurden, konnte man aller dieser übergroßen Schwierigkeiten schließlich Herr werden; denn mußte z. B. infolge Wasserandrangs in dem einen Stollen die Arbeit unterbrochen werden. so konnte das Wasser mittels eines Querschlags durch den anderen abgeleitet werden. Vor allem aber diente der eine Stollen zur Einführung der unentbehrlichen frischen Luft sowie zur Aufnahme der Druckwasserleitungen für das Bohr- und Kühlwasser. Am Gotthard wurde seinerzeit nur etwa $^1/_2$ cbm frische Luft sekundlich den Tunnelarbeitern zugeführt, was im Verein mit den mangelhaften hygienischen Einrichtungen allgemeiner Art bekanntlich so große Opfer an Menschenleben gekostet hat. Am Arlberg wurden bereits 6 cbm Luft sekundlich in den Tunnel geleitet, und der Gesundheitszustand der Arbeiter war dort zufriedenstellend; am Simplon ist man nun gar auf 25 cbm/sek (zeitweilig sogar auf 30 cbm/sek) gegangen, d. i. 50mal mehr als beim Gotthard. Dafür sind aber auch die gesundheitlichen Verhältnisse dort ausgezeichnete gewesen. Hierzu haben allerdings auch die übrigen Maßnahmen der Unternehmer — Reinlichkeit im Tunnel, Kleiderwechsel und Bad nach beendeter Arbeit — viel beigetragen. Die große Luftmenge wurde durch mächtige, von Turbinen angetriebene Ventilatoren (Raddurchmesser = 3,75 m) in den einen Stollen eingeblasen, gelangte durch den der Vortriebstelle nächstgelegenen Querschlag — die rückwärts ge-

*) Zur Ableitung dieser ständig im Berginnern mit starkem Zischen und Brausen ausströmenden Wassermasse ist ein besonderer 4,4 km langer Kanal aus dem Felsboden des einen Tunnels ausgesprengt worden. Aus ihm ergießt sich das Wasser bei Iselle in kräftigem Falle in die Diveria. Wegen der Wasserabführung (vergl. S. 70) ist der Tunnel von seiner Mitte (704 m ü. M.) aus nach Brig (686 m ü. M.) mit rund 2‰ (1:500) Gefälle angelegt. Da Iselle auf 634 m Meereshöhe liegt, so ergab sich für die Südstrecke ein Gefälle von 7‰ (1:143), was den Abfluß der großen Wassermenge natürlich sehr fördert.

legenen wurden stets wieder geschlossen — in den anderen Stollen und strömte durch ihn bezw. den aufgeweiteten Tunnel ins Freie zurück. So herrschte im Tunnelinnern ein ständiger Luftstrom, der gleichzeitig auch kühlen half. Vom letzten Querschlage bis zu den Arbeiten vor Ort wurde die Luft durch Wasserstrahlgebläse gebracht. Die Hauptkühlung wurde jedoch durch Wasser bewirkt, das in isolierten Druckleitungen in das Berginnere geführt und in feinen Strahlen ausgelassen wurde. Dank diesen Maßnahmen war die Temperatur vor Ort nicht höher als etwa 31—32° C, meistens sogar „nur" 26—28°. Verglichen mit dem Gotthard war es ein wahres Vergnügen, sich an den Arbeitsstätten des Simplontunnels aufzuhalten, um zuzuschauen, wie die Stahlbohrer in das seit Erschaffung der Welt unberührte Felsgestein eingetrieben wurden, damit sie Raum schafften für die Sprengmittel, diese gewaltigen Energieträger, die der menschliche Geist geschaffen hat und deren plötzliche Arbeitsentwickelung das härteste Gestein zu Fall bringt.

Bei den großen Massen des losgebrochenen Gesteins, des zur Auszimmerung und Rüstung erforderlichen Holzes sowie der zur Ausmauerung des Tunnels nötigen Baustoffe waren umfassende Transporteinrichtungen zu treffen und zu regeln. Zum Ziehen der Bahnwagen im Vortriebstollen dienten Pferde, zum Befördern der Züge dahinter Druckluftlokomotiven und in der aufgeweiteten Tunnelstrecke Dampflokomotiven. Das Druckwasser für die Bohrmaschinen wurde durch zahlreiche Kolbenpumpen mit 100 atm Pressung erzeugt, das Kühlwasser durch Zentrifugalpumpen mit 40 atm. Elektrisches Licht erhellte alle Arbeitsstellen außerhalb des Tunnels; innerhalb konnte es leider nicht verwendet werden wegen zu leichter Beschädigung der Stromleitungen, obschon es hier sehr am Platze gewesen wäre, da es die Luft nicht verdirbt und sie weniger erwärmt als die Öllämpchen. Zur Erzeugung aller dieser Energieformen sowie zur Unterhaltung der maschinellen Einrichtungen und der Bohranlagen nebst Fuhrpark usw. dienten in Brig (2200 PS) und Iselle (1300 PS) ausgedehnte Anlagen und Werkstätten. Sie haben zusammen 6,804 Millionen Mark gekostet.

Am Morgen des 24. Februar 1905 erfolgte der Durchbruch, freudig begrüßt von der ganzen zivilisierten Welt. Die Tunnelachsen stimmten fast genau überein.*) Damit war das Riesenwerk zu seinem ersten Hauptabschluß glücklich gebracht. Am 1. Juni 1906 konnten zum ersten Male die Schnellzüge den Simplontunnel durchfahren; eine neue Kulturstraße wurde damit in den Dienst der Menschheit gestellt.

Vorderhand ist nur der eine eingleisige Tunnel (Nr. I) fertiggestellt worden, der andere (Nr. II) wird zunächst in seinem Stollenausbruch belassen. Damit nun die Züge**) in genügend kurzer Zeit sich folgen bezw.

*) Die $^1/_2$ Jahr später vorgenommene genaue Vermessung ergab folgendes:
Abweichung der Achsen in der Wagerechten . . . . . 20,2 cm
„ „ „ „ „ Höhe . . . . . 8,7 „
Abweichung in der Länge (gegen die berechnete Länge kürzer) 79 „
Näheres vgl. Schweiz. Bauzeitung 1905, Bd. 46, S. 140.

**) Die Züge werden durch elektrische Lokomotiven befördert, damit die Reisenden und die im Tunnel beschäftigten Beamten und Arbeiter nicht unter den bei Dampflokomotiven unvermeidlichen Rauchgasen zu leiden haben. Auch wird der (durch Vorhänge abgeschlossene) Tunnel kräftig gelüftet und an den warmen Stellen durch Wasser gekühlt, um die Durchfahrt etwas angenehmer zu gestalten. Die beiden Ventilatoren der einen Seite drücken hierbei die Luft in den Tunnel, die anderen beiden saugen sie ab. Die im Tunnel aufgestellten Kilometerlaternen und Signale werden elektrisch erleuchtet, desgl. die Ausweichestelle (S. 76). Von den an beiden Tunnelmündungen insgesamt erzeugten rund 3500 Pferdestärken entfallen auf den elektrischen Zugbetrieb ungefähr 2400 PS, so daß für Lüftung, Beleuchtung, Kühlung

kreuzen können, ist in der Tunnelmitte eine 500 m lange Ausweichestelle (im Tunnel II) angelegt worden. Wird auch der zweite Tunnel ausgebaut, so erhält der Unternehmer dafür einschließlich der Ergänzungsarbeiten für die Lüftungsanlagen, jedoch ohne den Oberbau, 19,5 Millionen Frs. Dieser Betrag ist in der Bausumme obiger Übersicht nebst den Installationskosten schon berücksichtigt.

Wie stolz war doch vor 140 Jahren jener Erzbischof von Salzburg auf die Herstellung des bekannten Tunnels („Neutor") dieser Stadt, den er in den Jahren 1765—1767 durch die trockene Nagelfluh des Mönchbergs brechen ließ. Er glaubte in diesem kurzen Felsengange ein gewaltiges Werk geschaffen zu haben, weshalb er auch an dessen Stadtseite sein Bildnis anbrachte mit der Überschrift: Te saxa loquuntur.

Ein Vorzug des Simplontunnels gegenüber den anderen großen Tunneln ist seine niedrige Lage. Seine Nordmündung liegt nur 686 m ü. M. und etwa 4 m über dem mittleren Rhonespiegel, sein Scheitel hat 704 m Meereshöhe, während der Scheitelpunkt des Mont Cenistunnels z. B. auf 1295 m ü. M. liegt, der des Gotthardtunnels auf 1154 m ü. M., vergl. die Tafel Gebirgsbahnen. Infolge dessen erfordern seine Anschlußlinien auch nicht so starke Steigungen wie bei den anderen Bahnen, was den Zugbetrieb günstig gestaltet. Die jetzigen Zufahrtlinien aus Frankreich bedürfen allerdings nach dieser Richtung hin noch einer wesentlichen Verbesserung, da sie ungünstige Steigungen haben und hohe Wasserscheiden übersetzen. Neue Linien sind deshalb an der französisch-schweizerischen Grenze geplant.

Wie sich unter diesem Gesichtswinkel die Gebirgsbahnen der verschiedenen Länder zu einander verhalten, ist auf nebenstehender Tafel*) zeichnerisch dargelegt. Es sind auf ihr die Höhenpläne bezw. auch Teile davon und einzelne Scheitelpunkte der wichtigeren als Reibungsbahnen ausgeführten Gebirgsbahnen, deren Höchstpunkte mindestens 550 m ü. M. liegen, übersichtlich zusammengestellt. Die hervorragenderen Bahnen mit vereinigten Reibungs- und Zahnstrecken, sowie die bemerkenswerteren Zahnbahnen sind im Abschnitt „Besondere Bahnen" zur Darstellung gebracht.

Während in Europa die größte Meereshöhe einer Hauptbahn mit 1367 m am Brenner und 1311 m am Arlberg sich vorfindet, der einer Schmalspurbahn mit 1823 m im Albulatunnel, mit 1633 m bei Davos und mit 1130 m am Brockengipfel, erklimmt in Asien die schon mehrfach genannte Darjeelingbahn die Hänge des Himalaya bis zu 2250 m ü. M. Alle Erdteile werden aber darin weit übertroffen von Amerika, wo eine ganze Anzahl von Bahnen Wasserscheiden von mehr als 2500 m Meereshöhe ersteigen. In Nordamerika zeigt die Union Pacificbahn auf dem Shermanpaß 2514 m Höhe; die Bahnen in Colorado überwinden Höhen von 3000 bis 3550 m. In Südamerika ersteigt die 924 km lange Schmalspurbahn Antofagasta-Oruro (76 cm Spur) in rund 390 km Entfernung vom Meere unweit Ascotan eine Höhe von mehr als 4000 m, um von da in allmählichem Gefälle auf 3694 m Meereshöhe bei Oruro zu enden. Eine von Uyumi, 611 km hinter Antofagasta, auslaufende Zweiglinie nach den Silberminen von Huanchaca (bei Pulacayo) bringt es sogar auf 4153 m,

---

und Bedienung der Portalvorhänge etwa 1100 PS zur Verfügung stehen. Die Lokomotiven haben drei gekuppelte Triebachsen, sowie je eine vordere und hintere einstellbare Laufachse; sie sind mit je zwei Motoren ausgerüstet, die im Dauerbetriebe zusammen bis 1150 PS leisten. Es kommt Drehstrom von 3000 V Spannung zur Verwendung. Die Schnellzüge werden von Nord nach Süd in 20 Minuten, in umgekehrter Richtung in 26 Minuten durch den Tunnel befördert, die bis 400 t schweren Güterzüge mit etwa 34 km/st.

*) Vergl. auch 1. Wellington, „Railway Location", 1904; 2. „Zeitschr. d. österr. Ingenieur- u. Architekten-Vereins", 1896, Tafel VIII; 3. „Engineering News" 1896.

reicht also fast so hoch hinauf wie der Gipfel der Jungfrau (4166 m). Erwähnenswert ist auch die unweit Polapi beginnende über 300 km lange Wasserleitung, die nicht nur die Bahnstationen mit Wasser versorgt, sondern auch die näher der regenlosen Küste zu gelegenen Salpeterwerke sowie Antofagasta selbst.

Die 600 km lange Peruanische Südbahn Mollendo-Arequipa-Sicuani, die von Juliaca (3819 m ü. M.) eine Zweiglinie nach dem Titicacasee*) entsendet, vgl. Abb. 42**), erhebt sich in ihrem 1173 m langen Scheiteltunnel bei Portez del Cruzera auf 4470 m über Meeresspiegel. Noch höher strebend

Abb. 42. **Lageplan der höchsten Eisenbahnen (Peru).**

und kühner angelegt ist die 365 km lange Peruanische Zentralbahn Callao-Oroya-Cerro de Pasco (Vollspur). Sie ersteigt im Galeratunnel sogar eine Höhe von 4768 m***), erreicht also nahezu die Höhe des Montblanc (4810 m)! In langen Steigungen bis zu 40‰ (1:25) klettert diese Bahn von dem Gestade des Stillen Ozeans aus über Lima und die alte Inkastadt Chosica an den steilen Kordillerenhängen empor, zum Teil in zahlreichen Zickzacklinien (Spitzkehren) und Schleifen. Die zerklüfteten, steilen Gebirgsmassen

*) Die peruanische Regierung plant, diesen höchsten schiffbaren See der Erde für die Erzeugung elektrischer Energie nutzbar zu machen, um u. a. die Südbahn usw. elektrisch zu betreiben.

**) Engineering News 1905.

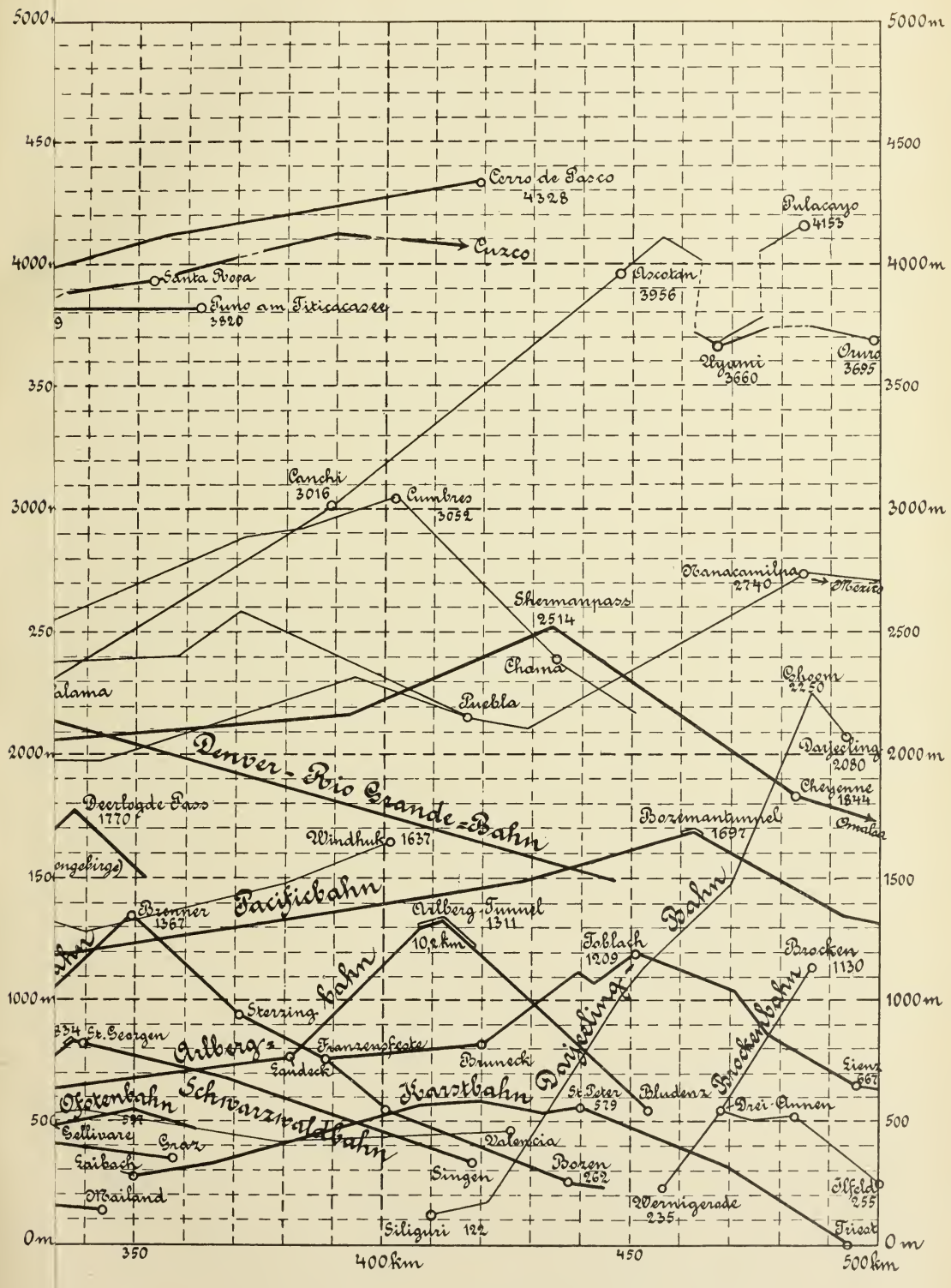
***) Nach anderer Angabe 4776 m.

zwangen nicht nur zu einer kühnen Linienführung (vgl. Abb. 25 u. 26, sowie 30 u. 31), sondern auch zu zahlreichen, oft kostspieligen Kunstbauten, worunter der S. 47 (Fußnote) genannte Verrugasviadukt. Die Bahn gehört in erster Linie zu den hervorragenden Werken der Ingenieurkunst, an denen unser Zeitalter so reich ist. Beim Vergleich der Höhenlage dieser südamerikanischen Bahnen ist allerdings zu beachten, daß die Schneegrenze in den Kordilleren weit höher liegt (etwa 5000 m) als in den Schweizer Alpen (2700 bis 2800 m), was ja den Bau und Betrieb der Bahnen erleichtert Immerhin aber sind in jenen Ländern und Höhen die klimatischen Verhältnisse doch derart, daß solche Bahnbauten mit ungemein großen Schwierigkeiten zu kämpfen haben. Sowohl die häufigen, mit gewaltigen Wassermassen niedergehenden Platzregen, nicht minder die empfindliche Kälte und die dünne Luft, als auch die verheerenden Schneestürme erschweren den Bau und die Unterhaltung der Bahnen.

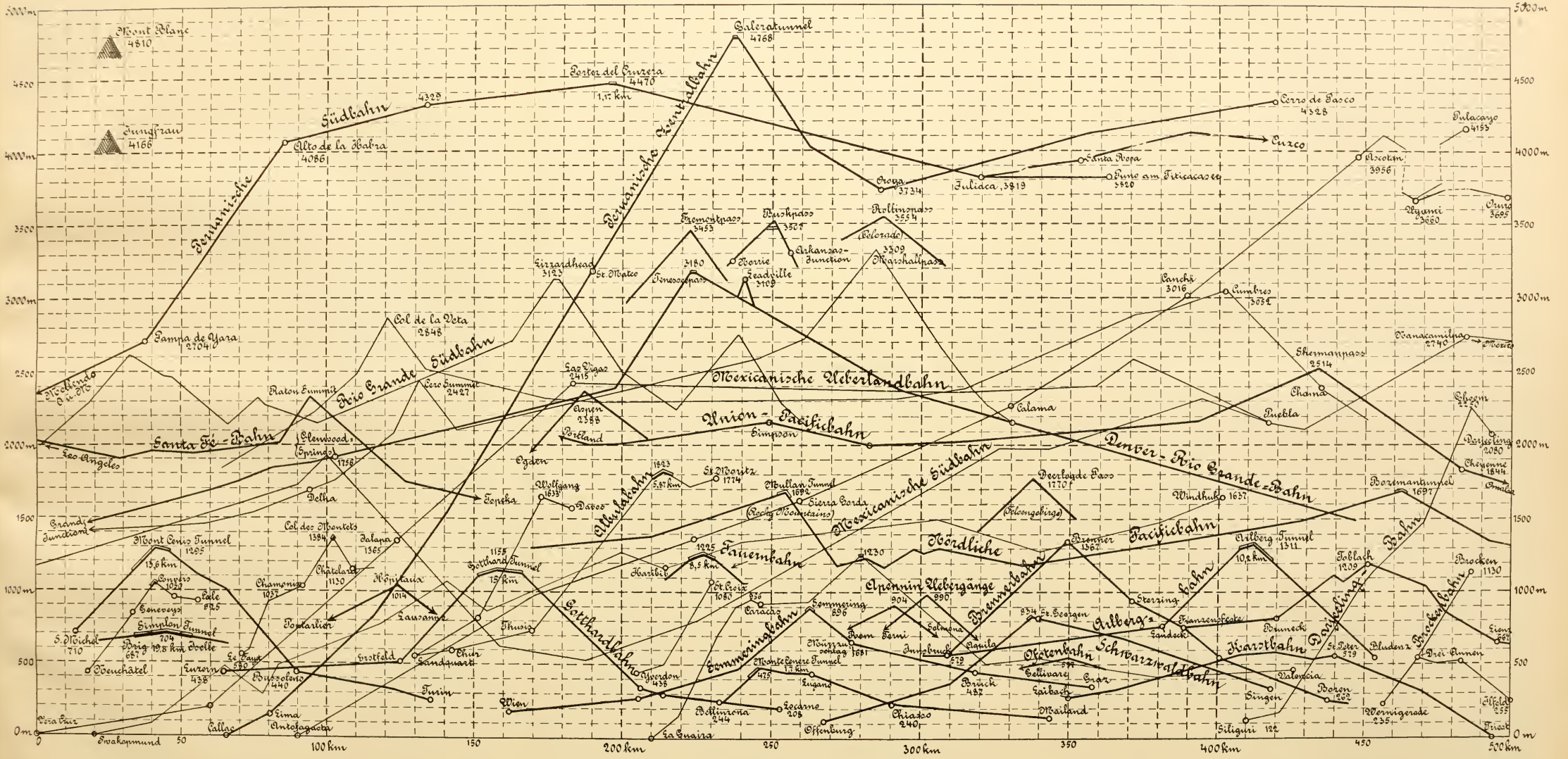
Eine Weiterführung der peruanischen Gebirgsbahnen über den Ostabhang der Cordilleren in die fruchtbaren, doch erst wenig angebauten, wasserreichen Täler hinab ist geplant (Abb. 42). Es soll dadurch der Anschluß an das schiffbare Gebiet des Amazonenstromes erreicht werden, um neben der Erschließung der an Mineralien reichen Ostgebiete Perus auch eine Verbindung zwischen dem atlantischen und dem großen Ozean zu ermöglichen.

Bergkrankheit. Auf Hochgebirgsbahnen tritt in etwa 4000 m Höhe häufig die bekannte „Bergkrankheit“ auf. Nach einem Bericht des „Engineering“ 1894 äußert sich die dünne Höhenluft auf dem letzten Teile der Fahrt nach Oroya höchst nachteilig auf viele Reisende. Die ganze Fahrtdauer beträgt 11 Stunden. Die Reisenden durchkosten also in kurzer Zeit alle Übergänge vom heißen Küstenklima bis zum kalten Höhenklima. Die sehr dünne Luft verursacht infolgedessen bei zahlreichen Fahrgästen die Bergkrankheit, dort Soroche genannt. Ihre Begleiterscheinungen sind Atemnot, starkes Herzklopfen, Ohrensausen und Mattigkeit in den Gliedern, die sich oftmals bis zu Ohnmachten steigert; häufig treten sogar Blutungen aus Nase, Mund und Ohren ein. Nach Ankunft eines Zuges in Oroya gleicht das Hotel daselbst recht oft „einem Krankenhause“, in welchem die Klagelaute der an der Soroche Erkrankten während der ganzen Nacht ertönen. Als Linderungsmittel werden in Oroya Nasenumschläge aus gekochtem Knoblauch, sowie gleichzeitiges Einnehmen des Abgusses hiervon empfohlen. Das Mittel soll aber eben so scheußlich sein, wie der ganze Krankheitszustand selbst. Viele Reisende bringen von Oroya statt der Erinnerung an den Genuß der erhofften Gebirgswunder eine solche an die unangenehmsten Stunden ihres Daseins zurück. Sobald tiefere Geländelagen erreicht sind, verschwindet das Leiden, das wiederum nicht so leicht eintritt, wenn der Reisende die Fahrt an einer in mittlerer Höhe gelegenen Station vor Oroya einige Tage unterbricht, um seinen Körper hier an die verdünnte Luft zu gewöhnen und die Lungen- und Herztätigkeit ihr anzupassen.

Ähnliche Krankheitserscheinungen treten bekanntermaßen auf der wegen ihrer herrlichen Aussichten viel befahrenen Manitou and Pike's Peak-Zahnbahn in Colorado auf. Die Fahrt von dem 2020 m über dem Meeresspiegel gelegenen Manitou nach dem 4312 m hohen Gipfel währt nur $1^1/_2$ Stunden, so daß der Übergang zur dünnen Höhenluft noch erheblich schneller erfolgt als auf der Oroyabahn. Infolgedessen gehören Ohnmachtsanfälle auf dem Pikes Peak nicht zu den Seltenheiten und zahlreiche Touristen haben hier unter der Bergkrankheit zu leiden.


5000m
4500
4000m
3500
3000m
2500
2000m
1500
1000m
500
0m
Cerro de Pasco 4328
Pulacayo 4153
Cuzco
Santa Rosa
Ascotan 3956
Puno am Titicacasee 3820
Ayami 3660
Oruro 3695
Canchi 3016
Cumbres 3054
Ticomacamilpa 2740
Mexico
Skermannpass 2514
Chama
Puebla
Cheyenne 2250
Darjeeling 2080
Cheyenne 1844
Omaha
Denver-Rio Grande-Bahn
Decrotyde Pass 1770
Windhuko 1637
Borzimantunnel 1697
Pacifikbahn
Brenner 1367
Arlberg Tunnel 1311
10,2 km
Toblach 1209
Brocken 1130
Sterzing
Franzensfeste
Innsbruck
St. Peter 579
Bludenz
Drei Annen
Lienz 667
Arlbergbahn
Schwarzwaldbahn
Karstbahn
Darjeeling-Bahn
Brockenbahn
Valencia
Bingen
Boxen 262
Wernigerode 235
Ilfeld 255
Mailand
Siliguri 122
Triest
350
400km
450
500km

Höhenpläne von Gebirgsbahnen.


Mont Blanc 4810
Jungfrau 4166
Peruanische Südbahn
Alto de la Cabra 4086
Tampa de Yara 2704
Col de la Vera 2848
Porter del Cuzcra 4470
4328
Galeratunnel 4768
Oroya 3734
Julidca 3819
Cerro de Pasco 4328
Cuzco
Santa Rosa
Lago Titicacasee 3820
Arequipa 3956
Pulacayo 4153
Ilimani 6660
Illimani 6485
Peruanische Zentralbahn
Rio Grande Südbahn
Mexicanische Uebertandbahn
Union-Pacificbahn
Denver-Rio Grande-Bahn
Mexicanische Südbahn
Nördliche Pacificbahn
Santa Fe-Bahn
Los Angeles
Modesto a. d. Atchison
Raton Summit
Lero Summit 2427
Col de la Veta 2848
Las Vigas 2415
Ojojun 2388
Portland
Ogden
Kansas City
Denver
Colorado Springs
Pueblo
Calama
Lampa 3016
Cumbres 3034
Skermannpass 2514
Chama
Tanacamilpa 2740
Mexico
Chicago
Omaha
Cheyenne 1844
Laramie 2250
Horsesling 2080
Fremontpass 3453
Marshpass 3508
Rollinspass 3554
Arkansas-Junction
Morrie
Leadville 3109
Tennesseepass 3180
Lizzardhead 3123
St. Mateo
Elkmountain 3309
Marshallpass
Windhuk 1637
Deerlodge Pass 1770
(Rocky Mountains)
(Felsengebirge)
Bozmantunnel 1697
Elkmountain 2511
Wolfgang 1633
Davos
St. Moritz 1774
Albulabahn 1893
5,87 km
Mullan Tunnel 1895
Sierra Corda
Delta
Ogden
Kansas City
Col des Mosentels 1384
Salapa 1365
Mont Cenis Tunnel 1295
15,6 km
Chapelard 1130
Chamonix 1037
Hospitaux 1014
Lausanne
Pontarlier
Genf 375
Neuchâtel
Simplon Tunnel 19,8 km
Brig 687
Iselle 704
Domodossola
Sion 542
Martigny 484
Aigle 425
Vevey 389
Montreux 396
Thun 560
Interlaken 580
Luzern 438
Brunnen 440
Hospental
Andermatt
Göschenen
Airolo
Faido
Bellinzona 244
Lugano
Locarno 208
Arth-Goldau
Zug
Zürich
Winterthur
Schaffhausen
Basel
Chur
Sargans
Rheinfelden
Frick
Olten
Aarau
Lenzburg
Brugg
Waldshut
Donaueschingen
Villingen
Hornberg
Offenburg
Kehl
Karlsruhe
Mannheim
Heidelberg
Mainz
Wiesbaden
Frankfurt a. M.
Hanau
Aschaffenburg
Würzburg
Fulda
Bebra
Eisenach
Gotthardbahn
Arlbergbahn
Tauernbahn
Brennerbahn
Semmeringbahn
Karstbahn
Pontebbabahn
Schwarzwaldbahn
Höllentalbahn
Brockenbahn
Harzbahn
Oberpfälzer Bahn
Nürnberg
Regensburg
Passau
Linz
Wien
Amstetten
Selzthal
Leoben
Bruck
Graz
Marburg
Laibach
Villach
Franzensfeste
Innsbruck
Landeck
Bludenz
Feldkirch
Bregenz
Rorschach
St. Gallen
Romanshorn
Konstanz
Singen
Triberg
Donaueschingen
Immendingen
Tuttlingen
Schaffhausen
Basel
Delle
Belfort
Epinal
Nancy
Metz
Saarbrücken
Trier
Koblenz
Bingerbrück
Mainz
Wiesbaden
Frankfurt a. M.
Hanau
Aschaffenburg
Würzburg
Fulda
Bebra
Eisenach
Kassel
Göttingen
Hannover
Braunschweig
Magdeburg
Berlin
Halle
Leipzig
Dresden
Bodenbach
Prag
Pilsen
Eger
Hof

VI. Oberbau.

Verschiedentlich findet man in der Literatur die Anfänge der Eisenbahnen zurückverfolgt bis in die graue Vorzeit, als die Ägypter ihre Pyramiden, die Inder ihre Riesentempel bauten und die alten Griechen ihre Opferfeste und nationalen Volksspiele feierten. Bei jenen Völkern sehen wir allerdings schon Spurwege, d. h. durch Plattenreihen gebildete Fahrbahnen oder in Stein gearbeitete Rillen, auf bezw. in denen am Nil Lastfuhrwerke, im Hellas Fest- und Opferwagen sich bewegten. Die in den felsigen Berghängen Griechenlands erhaltenen Spurwege zeigen in der Umgebung von Delphi, Eleusis usw. eine Tiefe von 5 bis 7 cm; sie sind an verschiedenen Stellen sogar mit regelrechten Ausweichrillen versehen. Dieses scheint auf eine künstliche Herstellung hinzudeuten, wenngleich es noch wahrscheinlicher sein dürfte, daß alle diese Rillen durch natürliche Abnutzung hervorgerufen wurden. Auch in unserer Zeit sehen wir derartige Rillenbildungen vor sich gehen. So zeigte beispielsweise eine verkehrsreiche Londoner Straße, welche mit Granitplatten belegt worden war, schon nach drei Jahren die Rillenspur. Die Wegeanlagen der Alten gerieten mit dem Verfall jener Völker in Vergessenheit und können daher nicht als die Vorläufer der späteren eisernen Spurbahnen angesehen werden. Als solche können eher schon die im Mittelalter in den deutschen Bergwerken, im Elsaß, Harz, in Sachsen und anderen Orten benutzten Holzgleise betrachtet werden, wie dies auch zahlreiche Schriftsteller tun. Derartige Holzbahnen bestanden aus zwei Längsbalken, die in gleichem Abstande voneinander auf Querhölzern befestigt und an manchen Orten zur Schonung des Holzes entweder in ganzer Länge oder nur in den Krümmungen mit Eisenstreifen beschlagen waren. Auf ihnen wurden die kleinen Erz- und Kohlenwagen, Hunde genannt, durch Menschenkraft geschoben (Abb. 43). Außer Sebastian Münster liefert uns die allgemeine Anordnung dieser Bahnen unter Beifügung von Abbildungen das „Bergwerksbuch“ von Ettonhardi (1556), sowie das von Agricola (Chemnitz 1557). Hier ist von einem Reibnagel die Rede, durch den die Wagen in den dunklen Stollen und Gängen der Berge sicher geführt wurden.

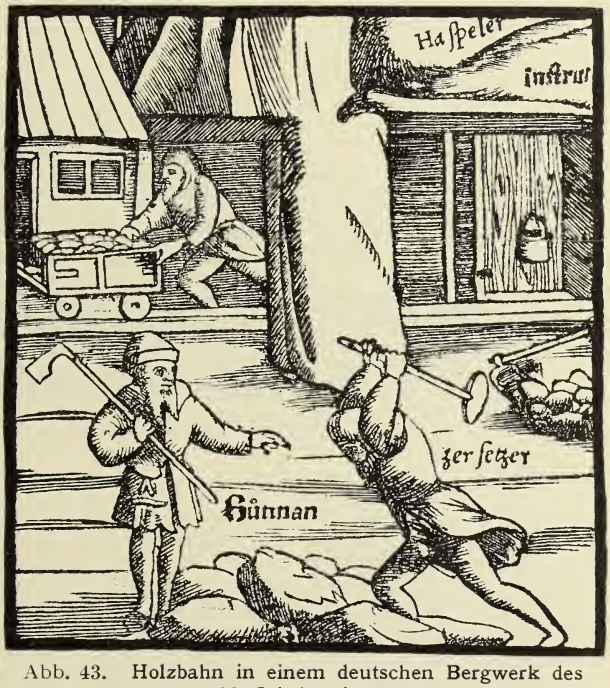


Abb. 43. **Holzbahn in einem deutschen Bergwerk des 16. Jahrhunderts.**
(Aus der Cosmographey von Sebastian Münster, 1550.)

Eine der ursprünglichsten Gleisarten — hölzerne Laufbahn ohne jegliches Eisen — stand noch im vorigen Jahrhundert in der Apostelgrube Brad-Siebenbürgen in Benutzung. Rundstämme bilden die Schienen, auf

denen plumpe „Hunde“ laufen, deren kleine, aber breite Räder (richtiger Rollen) zwecks Spurhaltens in der Mitte ausgekehlt sind. Die Weichen besitzen nur eine Zunge (um einen Endpunkt drehbares Rundholz), sind also von denkbar einfachster Bauart. Die Bewegung der Hunde erfordert wegen der starken Reibung und der kleinen Laufrollen große Kraftanstrengung. Das Osnabrücker Gleismuseum besitzt eine derartige alte, aus Ungarn stammende Weiche mit Karren.

Damals stand der deutsche Bergbau in hoher Blüte und überragte weit den englischen bis zu dem für Deutschlands Wohlfahrt und Gewerbetätigkeit so verhängnisvollen Dreißigjährigen Kriege. Deutsche Bergleute wurden Ende des 16. Jahrhunderts nach England berufen, um dort nach deutscher Art die Kohlengewinnung in den reichen Kohlenfeldern einzurichten. Damit wurden die Holzbahnen in Englands Bergwerken bekannt und verbreitet. Sie wurden später auch — vielleicht von hier entlehnt, wahrscheinlich aber von anderer Seite selbständig erdacht — als einfache Bohlenbahn in den Straßenkörper gelegt, um die Fortschaffung von Wagen- und Karrenlasten zu erleichtern. Auf ihnen wurden durch Zugtiere Kohlen von einzelnen Orten des Inselreiches bis an die Küste zu den Frachtschiffen geschafft. Auch in den Straßen der Städte der englischen Kohlenbezirke und deren Umgebung finden wir bald derartige hölzerne Spurwege für die Lastwagen. Sie standen im 17. und 18. Jahrhundert in größerer Ausdehnung in Benutzung, u. a. in der noch heutigestags durch

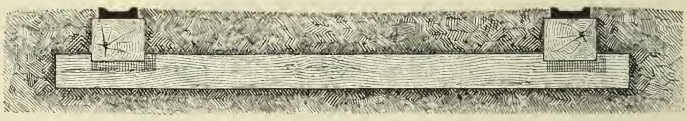


Abb. 44. Reynolds' gußeiserner Schienenbelag, 1767.

ihren ungemein großen Kohlenversand berühmten Gegend von Newcastle-on-Tyne. Diese Kohlenbahnen wurden das Vorbild der Eisenbahnen. Für die verkehrsreicheren Wege nahm man in der Folge Längsbalken statt der Bohlen und verkämmte sie wegen der Spurerhaltungauf Querschwellen.

Aber alle diese Holzbahnen, so kräftig man sie auch zuletzt baute, erwiesen sich infolge ihrer Abnutzung und Vergänglichkeit doch recht teuer. Da kam, wie Nicholas Wood in einer 1825 erschienenen „Abhandlung über Eisenbahnen“ angibt, Reynolds, Mitbesitzer der Coalbrookdale-Eisenwerke, 1767 auf den Gedanken, die Langhölzer einer Bahn versuchsweise mit gußeisernen Platten belegen zu lassen. Der Preis des Gußeisens stand damals gerade sehr niedrig, und die Eisenwerke verfügten über große Lagerbestände. Es wurden ⊔-förmige Platten von etwa $1^1/_2$ m Länge, 11 cm Breite und $3^1/_2$ cm Dicke gegossen; jede hatte drei Löcher zwecks Befestigung auf den Längshölzern, Abb. 44. Der Versuch brachte einen vollständigen Erfolg. Die eiserne Spur war nicht nur widerstandsfähiger gegen Abnutzung, sondern zeigte auch eine geringere Reibung, so daß man mit einem Pferde größere Lasten als vordem und dabei noch schneller befördern konnte. Die ersten Eisenbahnen waren geschaffen!

Die Schienenplatten fanden bald weitere Verbreitung. Sie hatten allerdings den Übelstand, daß wegen ihrer niedrigen Ränder die Wagen leicht von der Spur abkamen. Um dieses zu vermeiden, stellte Curr 1776 für die Spurbahnen der Sheffielder Zechen gußeiserne Winkelschienen her, Abb. 45, deren senkrechter Rand das Entgleisen wirksam verhinderte. Auf manchen Bahnen lag dieser Rand nach innen, auf anderen umgekehrt an der Außenseite. Anfangs lagen auch diese Schienen in ganzer Länge

auf den Langhölzern auf, bis man beim Ersatz der letztern an einzelnen Stellen durch Querhölzer zufällig entdeckte, daß diese eine genügende Unterstützung der Schienen abgaben: der Querschwellenoberbau mit freitragenden Schienen war gefunden, Abb. 46. Er hatte den Vorteil, daß die Lastwagen ohne weiteres auch auf gewöhnlichen Straßen laufen können. Dieses hörte zwar auf, als im Jahre 1789 Jessop die in Abb. 47 wiedergegebene Form einführte, in der wir unschwer einen Vorläufer der heutigen Eisenbahnschiene erkennen können, sowohl was den verdickten Kopf als den hohen, tragfähigen Steg anbetrifft. Dafür war aber eine Schiene für größere Wagenlasten geschaffen. Infolge des pilzartigen Kopfes mußten die Räder die Führung des Fahrzeuges im Gleise allein übernehmen, daher einen überragenden Rand — Spurkranz — erhalten.

Abb. 45. Currs gußeiserne Winkelschiene, 1776.

Um das Gleis noch kräftiger zu gestalten, gab Jessop dem Stege später Fischbauchform, ließ die breiten Auflagerenden, die im Betriebe leicht brachen, fort und legte die Schienen in gußeiserne, auf den Schwellen festgelagerte Stühle, in denen sie durch Schraubbolzen sicher gehalten wurden.

Statt der Holzschwellen versuchte man es bald mit den haltbareren Steinwürfeln und kam so im Jahre 1798 zu der in Abb. 48 dargestellten Anordnung.*) Die Abbildung, in der der Deutlichkeit wegen die Bettung zwischen den Steinwürfeln fortgelassen ist, wurde nebst einigen anderen Abbildungen dieses Abschnitts Findlays „Betrieb und Leitung einer englischen Eisenbahn" entnommen. Wir haben hier bereits ein sehr durchgebildetes Gleis vor uns, das noch im Jahre 1825 für die halbe Länge der Stockton-Darlingtonbahn — vergl. auch S. 5 — Verwendung fand, während für die andere Hälfte auf G. Stephensons Vorstellungen hin schmiedeiserne Fischbauchschienen verlegt wurden. Jessops Erfindung hatte eine völlige Umwälzung in der Anlage der Eisenbahnen im Gefolge. Sie schuf eine Fahrbahn, die dem Lastenverkehr so große Vorteile bot, daß ihre Verbreitung und Nutzanwendung für Betriebe mit Pferden, Seil usw. von Anfang an sicher gestellt war. Auch wenn in den nächsten Jahrzehnten die Dampflokomotive noch nicht erfunden worden wäre, würde sich zweifellos Jessops Eisenweg doch nach allen Hauptverkehrsgegenden Bahn gebrochen haben. Die Lokomotive dagegen hätte ohne das Gleis niemals nennenswerte Bedeutung gewonnen. Darum waren auch alle die in den Jahren 1820—30 besonders lebhaft vor sich gehenden Bemühungen auf Schaffung einer brauchbaren Straßenlokomotive, auch Dampfwagen, Dampfkutsche genannt, von vornherein aussichtslos. Lokomotive und Gleisbahn sind unzertrennlich voneinander.

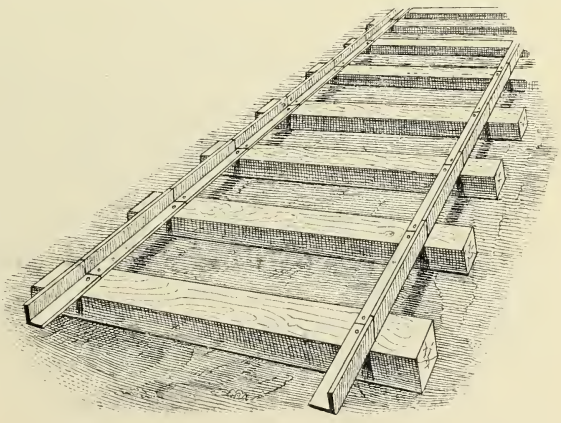


Abb. 46. Currs Schienenweg, 1776.

*) Auch die Curr-Schiene ist um das Jahr 1800 auf Steinwürfeln verlegt worden und zwar auf der Merthyr-Tydvilbahn in Wales. Das weiter unten näher genannte Osnabrücker Gleismuseum enthält ein Stück dieses Oberbaues, auf dem 1804 R. Trevithik seine im folgenden Abschnitte besprochene Lokomotive versuchte.

Mit der gußeisernen Fischbauchschiene ist der erste Abschnitt in der Entwickelung der Eisenbahnen abgeschlossen. Der folgende betrifft neben dem Ersatze der gußeisernen Schiene durch die schmiedeiserne die Einführung der Dampfkraft, der letzte die Ausbildung der Lokomotive, die Verwendung von Stahlschienen und Eisenschwellen.

Die Steinwürfelunterstützung der Abb. 48 hat in den ersten Jahrzehnten der Lokomotiveisenbahnen ausgedehnte Anwendung gefunden, in Deutschland hat sie sich auf einigen Linien sogar bis 1880 erhalten. Dem modernen Eisenbahnverkehre sind Einzelunterlagen nicht gewachsen. Bei den hohen Fahrgeschwindigkeiten und großen Radlasten unserer Zeit sichern sie nicht die Gleislage und verursachen zudem viele Unterhaltungskosten; auch fährt es sich hart und geräuschvoll auf ihnen. Ehe man in England die Steinwürfel endgültig aufgab, klärte man dort die Frage durch einen gründlichen praktischen Versuch. Nach Clark, „Railway Machinery", welcher Quelle auch die Abb. 63, 75 u. 98 entstammen, wurde auf einem Abschnitte der Leeds-Manchester Bahn der Felsgrund geebnet und unmittelbar auf ihm die gußeisernen Stühle wie bei den Einzelwürfeln verlegt. Auf dieser festen starren Bahn fuhr es sich aber so hart und unangenehm, litten Gleis und Fahrzeuge so stark, daß dieses Felsbett sehr bald durch Aufbringen von Bettung und Holzschwellen weicher gemacht werden mußte. Ebenso sind aus gleichem Grunde auch Versuche mit Mauerkörpern als Unterlagen fehlgeschlagen.

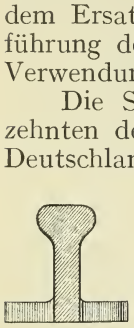


Abb. 47. Jessops gußeiserne Pilzschiene, 1789.

Bereits im Jahre 1803 hatte Nixon auf einer Zechenbahn bei Newcastle-on-Tyne schmiedeiserne Schienen von quadratischem Querschnitte und

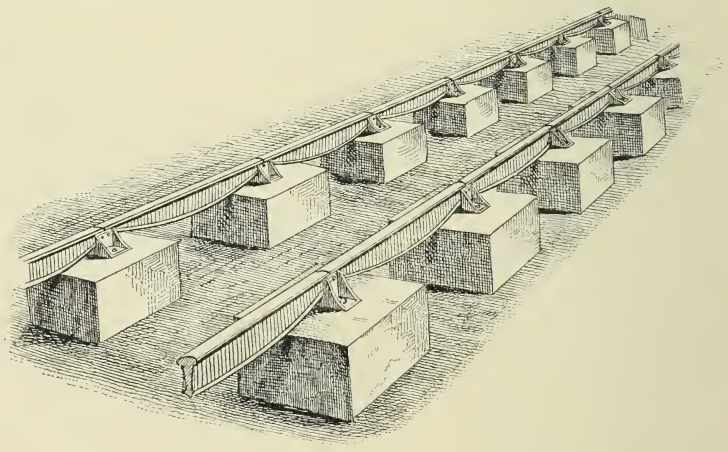


Abb. 48. Jessops gußeiserne Fischbauchschiene auf Steinwürfelunterlage, 1798.

zwei Fuß*) = 61 cm Länge in Anwendung gebracht, die zwar haltbar sich erwiesen, aber Durchbiegungen zeigten und dadurch den Widerstand der Fahrbahn erhöhten. Erst als Birkinshaw, Ingenieur der Bedlington Eisenwerke, 1820 das Schienenwalzen erfand — der eigentliche Walzprozeß war seit langem bekannt, beschränkte sich jedoch nur auf rechteckige Eisenstäbe — und Pilzschienen in Länge von 12—15 Fuß engl. anfertigen konnte, war die Möglichkeit gegeben, ein tragfähiges, dauerhaftes Gleis für

*) 1 Fuß englisch = 0,3048 m.

Lokomotivbetrieb herzustellen. Die Walzschienen stellten sich anfangs nicht billig, zumal man in England an der für Gußeisen bewährten Fischbauchform festhielt. Diese konnte aber durch den Walzprozeß nicht erzeugt werden, mußte vielmehr nachträglich durch Handarbeit aus dem wahrscheinlich mit gleichbleibender Höhe gewalzten Schienenstabe erstellt werden, wie dies Haarmann. Generaldirektor des Osnabrücker Stahlwerkes, in seinem 1891 erschienenen Buche „Das Eisenbahngeleise" nachgewiesen hat. In dem von ihm gegründeten reichhaltigen Oberbaumuseum dieses Werkes, das eine nahezu vollständige Zusammenstellung der meisten bis jetzt in Benutzung gewesenen wichtigeren Oberbauanordnungen enthält und ohne gleichen dasteht, das auch auf der Weltausstellung in Chicago wohlverdiente Anerkennung fand, ist ein Fischbauchschienenstück aus dem ältesten Gleise der Stockton-Darlington Bahn enthalten. Seine Beschaffenheit deutet nicht auf alleinige Herstellung im Walzprozeß, vergl. auch Abb. 49 u. 50. Neben der größeren Haltbarkeit besaß die 4,57 m lange schmiedeiserne Schiene den großen Vorteil, daß bei ihr die Zahl der Schienenverbindungen — Schienenstöße — auf $^1/_4$ der Zahl bei gußeisernen Schienen sank, was das Fahren ganz wesentlich verbesserte und Schienen wie Räder mehr schonte.

Abb. 49. Birkinshaws gewalzte und bearbeitete Schiene, 1820.

Trotzdem hatte G. Stephenson, wie schon erwähnt, nur mit Mühe die Verwendung der Walzschiene durchsetzen können. Die Erfahrung gab ihm sehr bald recht, und die von ihm erbaute, am 15. September 1830 eröffnete 48 km lange Liverpool-Manchester Bahn erhielt einen vollständig schmiedeisernen Schienenstrang. Die Abb. 50 veranschaulicht das Eigentümliche dieses Gleisbaues: über Eck gelegte Steinwürfel, auf denen die gußeisernen Stühle mittels Holzdübel und Bolzen befestigt sind, während die 4,57 m langen Schienen in den Stühlen durch schmiedeiserne Keile festgehalten werden. Auf Dämmen und in nachgiebigem Gelände waren die Steinunterlagen durch eichene Querschwellen ersetzt, um die gleichmäßige Höhenlage beider Schienen zu sichern. Das Schienengewicht war auf 17,3 kg für das laufende Meter erhöht, während auf der Stockton-Darlington Bahn nur 13,9 kg/m schwere Schienen lagen. Die Fischbauchform von Stuhl zu Stuhl war übrigens bei diesen langen Schienen verfehlt, denn sie setzt die gleiche Höhenlage aller eine Schiene stützenden Stühle voraus. Diese Bedingung läßt sich aber in der Praxis, zumal bei den Steinwürfeln, dauernd nie erreichen, ein Verbiegen der Schienen ist die Folge. Bei den nur von Stuhl zu Stuhl reichenden gußeisernen Schienen war die Fischbauchform ganz am Platze.

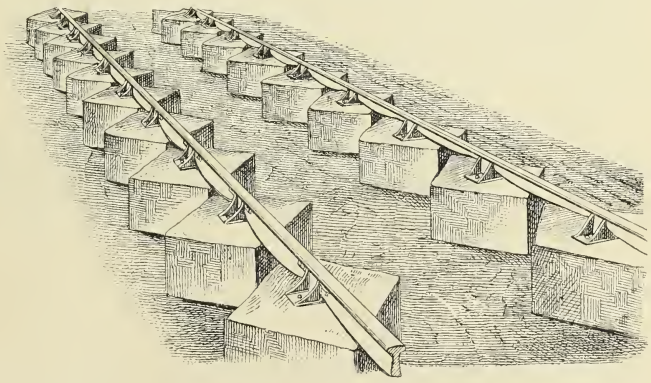


Abb. 50. Gleis mit schmiedeiserner Fischbauchschiene. (Liverpool-Manchester-Eisenbahn, 1830.)

Die Fischbauch-Pilzschiene, welche auch auf der Eisenbahn Brüssel-Mecheln (vgl. S. 8) verlegt worden war, wurde denn auch bald verdrängt durch die Pilzschiene von gleichbleibender Höhe, deren Unterkante jedoch

zur Verstärkung ihrer Widerstandsfähigkeit und zum Schutze gegen Herausheben der Schienen aus den Stühlen mit einer Verdickung oder auch zwecks besserer Befestigung in den Schienenstühlen mit beiderseits des Steges angewalzten Leisten versehen waren. Diese Schienen bedurften keiner Handarbeit mehr, waren daher weit billiger.

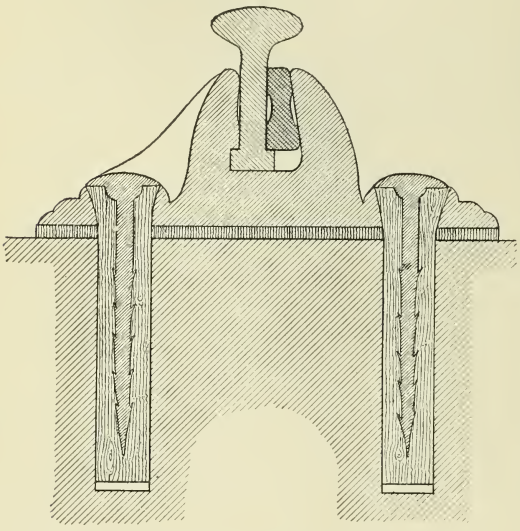


Abb 51. Schienenbefestigung der Eisenbahn Nürnberg-Fürth, 1835.

Sie wurden auch auf der Eisenbahn Nürnberg-Fürth verlegt und zwar ebenfalls auf Steinwürfeln. In Abständen von 300 bayerischen Fuß = 87,6 m wurde eine 2 m lange Steinquerschwelle von stärkerem Querschnitt unter dem Schienenstoße eingebettet. Die Schienen waren 15 bayerische Fuß = 4,38 m lang und in gußeisernen, 4—4,8 kg schweren Stühlen durch ebensolche, jedoch getemperte Eisenkeile festgehalten, die Stühle selbst mittels geteerter Filzunterlagen auf den Steinen elastisch gelagert und durch Holzdübel und Spitzbolzen mit Widerhaken befestigt. Abb. 51—53 geben nach Scharrer „Deutschlands erste Eisenbahn mit Dampfkraft", 1836, die bemerkenswerten Einzelheiten dieses Oberbaues wieder. Zwischen den Schienen war die Bettung abgepflastert, da anfangs die Bahn mit einer Lokomotive

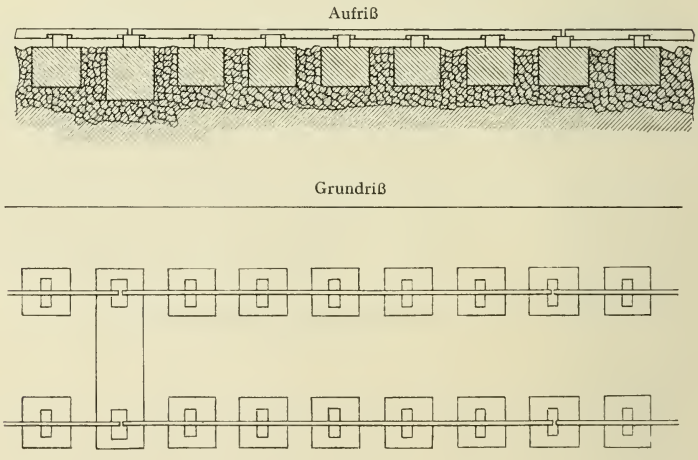


Abb. 52 u. 53. Oberbau der Eisenbahn Nürnberg-Fürth, 1835.

sowie auch mit vier Pferden betrieben wurde. Die Schienen wogen nur 14 kg/m. Sie waren auf dem Remyschen Walzwerke in Rasselstein bei Neuwied angefertigt und sind somit die ersten in Deutschland gewalzten Eisenbahnschienen. Auch die gußeisernen Stühle und Eisenkeile nebst

den Nägeln wurden auf heimischen Werken hergestellt. Nur die sechsräderige Lokomotive war aus England bezogen (Abb. 196); sie wog 6000 kg. Bei ihren schwachen Radbelastungen zeigte sich der Oberbau recht dauerhaft. Seine Pilzschienen fanden aber trotzdem auf der nächsten deutschen Bahn — der von Leipzig nach Dresden — keinen Eingang. Hier wählte man vielmehr für einen Teil der Strecke Holzquerschwellen und die weiter unten genannte Stevenssche Breitfußschiene, den anderen Teil belegte man mit hölzernen Eichen-Langschwellen, auf denen nach Abb. 54 u. 55 eine schmiedeiserne Flachschiene befestigt wurde: billig und schlecht! Diese Bauart erwies sich denn auch als sehr mangelhaft und wurde bald wieder beseitigt. Die Eisenbahn von Braunschweig über Wolfenbüttel nach Harzburg hatte ebenfalls auf ihrem letzten Abschnitte eine solche Gleisanordnung. Sie genügte, so lange Pferdebetrieb bestand, sobald aber anfangs der 40er Jahre die Züge durch Lokomotiven befördert wurden, offenbarte sich ihre Schwäche und sie mußte bald wieder beseitigt werden. Diese Erscheinung zeigte sich auch wieder 1866 bei der Zahnbahn auf den Mount Washington.

In Amerika hat der hölzerne Langschwellenoberbau mit Flachschienenbesatz ausgedehntere Anwendung gefunden. Holz hatte man dort im Überfluß, Eisenschienen waren aber recht teuer, da sie derzeit noch aus England bezogen werden mußten. Zudem war bekanntlich in den Anfängen des Eisenbahnwesens Geld für Bahnbauten sehr schwierig zu beschaffen.

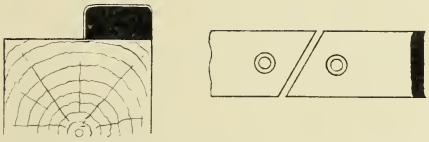


Abb. 54 u. 55. Flachschiene der Leipzig-Dresdener Bahn, 1837.

Abb. 56. Stevens' älteste Breitfußschiene, 1832.

Abb. 57. Vignoles' Breitfußschiene, 1836.

Der Vertreter jeder neuen Bahnanlage hatte mit einer Welt voller Vorurteile zu kämpfen. Kein Wunder, daß man bestrebt war, möglichst billig zu bauen. Erfahrungen darüber, ob die Anlage auch langen Bestand haben würde, fehlten derzeit. Nach Ringwalts „Transportation Systems in the United States" war 1840 die schmiedeiserne Flachschiene die vorherrschende in den Vereinigten Staaten von Amerika. Sie liegt noch jetzt, allerdings durch recht kräftige Lang- und Querschwellen gestützt, auf einigen verkehrsarmen Strecken der Savannahbahn (Georgia).

Anfang der 30er Jahre ließ der Amerikaner Robert Stevens, Sohn des weiter unten in der Geschichte der Lokomotive genannten John Stevens, auf einem englischen Walzwerke eine ganz neue Schienenform für die Camden-Amboybahn herstellen. Sie hatte im oberen Teile Pilzform, die Unterkante war jedoch zu einem breit ausragenden Fuße ausgestaltet, der eine unmittelbare Befestigung ohne Stühle auf den Schwellen gestattete. Es ist dieses die erste „Breitfußschiene", Abb. 56. Sie war etwa 20 kg schwer auf 1 m Länge und wurde, wie noch jetzt gebräuchlich, durch sogenannte Hakennägel (Abb. 78—80) auf den Schwellen oder Steinunterlagen festgehalten. Der Engländer Vignoles, dem gemeiniglich, aber mit Unrecht, die Erfindung der breitfüßigen Schiene zugeschrieben wird, führte einige Jahre nach Stevens die in Abb. 57 dargestellte Schiene, die der vorigen zweifellos nachgebildet ist, ein. Es ist hiernach nicht richtig, die Breitfußschiene als Vignolesschiene zu bezeichnen, wie solches in Deutschland, England usw. vielfach üblich ist.

Nach und nach gestaltete man den Steg höher, den Kopf breiter und nach unten keilförmig und gelangte so zu der heutigen, am meisten ver-

breiteten Form der Breitfußschiene. Abb. 58 zeigt die seit 1885 für die preußischen Staatsbahnen vorgeschriebene Querschnittsform, die zehn Jahr später für die Strecken des großen Schnellzugverkehrs durch die verstärkte Form der Abb. 59 ersetzt worden ist. Wiederum zehn Jahr später (1905) ist die letztere mit Rücksicht auf die weitere Steigerung der Fahrgeschwindigkeit in der Höhe um 6 mm, also auf 144 mm vergrößert worden, so daß sie nunmehr einem Raddruck von 9 t gewachsen ist. Ihr Gewicht ist dadurch auf 45,05 kg/m gehoben, während die schwerste badische Schiene 43,8,

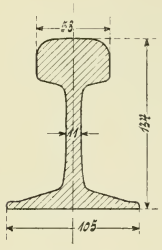


Abb. 58. Schiene der preußischen Staatsbahnen, 1885.

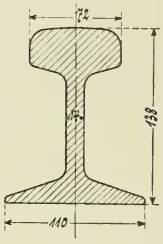


Abb. 59. Schiene der preußischen Staatsbahnen, 1895.

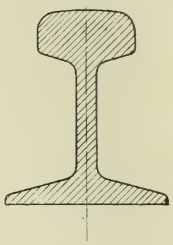


Abb. 60. Goliathschiene der belgischen Bahnen, 1887.

bayrische 43,5 und sächsische 46 kg/m wiegt. In Belgien ist man für stark befahrene Strecken nach dem Vorschlage des schwedischen Ingenieurs Sandberg 1887 dazu übergegangen, eine sogenannte Goliathschiene, Fig. 60, im Gewicht von 52 kg/m zu verwenden. Sie hat eine Höhe von 145 mm, eine Kopfbreite von 72 mm, ist im Fuße 135 mm breit, im Steg 17 mm dick und wiegt 52 kg auf 1 m Länge; sie ist wohl die schwerste Breitfußschiene, die für Lokomotiveisenbahnen Verwendung gefunden hat. Eine gleich schwere Schiene wurde im Jahre 1900 auf der Pariser Stadtbahn eingeführt; sie mißt je 150 mm in der Höhe wie in der Fußbreite und wiegt 52 kg/m, trotzdem der Raddruck höchstens 5600 kg beträgt.

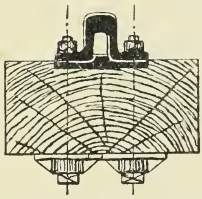


Abb. 61. Stricklands Brückschiene mit Stoßplatte.

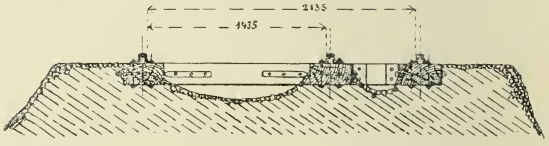


Abb. 62. Oberbau mit Strickland-(Brunel)Brückschiene (Great Westernbahn).

Etwa gleichzeitig mit Vignoles' Einführung der Stevensschen Schiene schlug 1834 der amerikanische Ingenieur Strickland eine neue Schienenform vor, die sogenannte Brückschiene, die später Isambart Brunel beim Bau der breitspurigen Great Westernbahn (Spurweite 7′ = 2135 mm) verwendete. Sie ist auch auf dem europäischen Festlande zur Einführung gelangt und unter dem Namen Brunelsche Brückschiene allgemein bekannt geworden. Abb. 61 zeigt ihren Querschnitt. Gewöhnlich wurde sie nach Abb. 62 auf Langschwellen verlegt. Die Great Westernbahn baute später aus Verkehrsrücksichten eine dritte Schiene mit Langschwelle ein, so daß ihre Strecken sowohl von den breit- als auch normalspurigen Fahrzeugen*)

*) Ein ähnliches Beispiel bietet heute noch Colorado. Ein Teil der ursprünglich mit Schmalspur (914 mm) ausgeführten Denver und Rio Grande-Bahn (S. 55) wurde später durch Einbau einer dritten Schiene auch für Vollspur 1435 mm) eingerichtet. Das Bahnnetz besteht jetzt aus Linien mit Voll-, Schmal- und gemischter Spur.

befahren werden konnten. Die letzten mit der Brückschiene belegten Strecken standen in England noch bis zum Jahre 1892 — bis zur vollständigen Beseitigung der Great Western-Breitspur — in Benutzung. Die 1900 eröffnete unterirdische „Central-Londonbahn" (elektrische Tunnelbahn) hat wieder Brückschienen mit Langschwellen erhalten.

Aus der Brückschiene leitete 1849 W. Barlow die „Sattelschiene" (Abb. 63) ab, bei der jegliche Schwellenunterstützung gespart werden sollte. Der Erfinder nahm an, daß die mit 330 mm breiten Auflagerflächen versehenen Schienen bei guter Ausfüllung des Hohlraumes mit Bettungsmaterial den Druck der Radlasten auf die Bettung unmittelbar zu übertragen geeignet seien. Die Schienen waren 46—62½ kg/m schwer, 20′ = 6,1 m lang und an den Stößen durch untergenietete Eisenplatten starr miteinander verbunden. Zur Erhaltung der Spurweite dienten anfänglich zwischengenietete Winkeleisen, die (auf der Midlandbahn) später, weil zu schwach, durch eiserne Querschwellen, schließlich durch hölzerne Querschwellen ersetzt wurden. Es sind damals in England, Frankreich und Amerika lange Strecken mit dieser Schiene ausgerüstet worden, sie bewährte sich aber nicht auf die Dauer, und es blieb bei diesen Versuchen. — Adams suchte denselben Zweck mit der 1854 von ihm eingeführten „Trägerschiene"*) zu erreichen, war aber auch nicht erfolgreicher. In diesen beiden Schienenformen erblicken wir die Vorläufer der seit Mitte der 70er Jahre in Deutschland wiederholt aufgetauchten verschiedenen Schwellenschienen (S. 102).

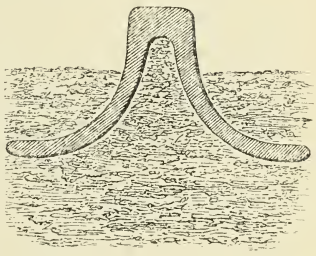


Abb. 63.
Barlows Sattelschiene, 1849.

Im Gegensatz hierzu fand die 1835 von J. Locke (nicht von R. Stephenson, wie vielfach angegeben wird) in Vorschlag gebrachte und von ihm zuerst auf der damaligen englischen Grand Junction-Eisenbahn erprobte doppelköpfige Schiene**) vielseitige Verwendung, Abb. 64 u. 65. Der leitende Gedanke bei Ausführung dieser Doppelkopfschiene war der ihrer zweifachen Ausnutzung. War der obere Kopf abgenutzt, so sollte die

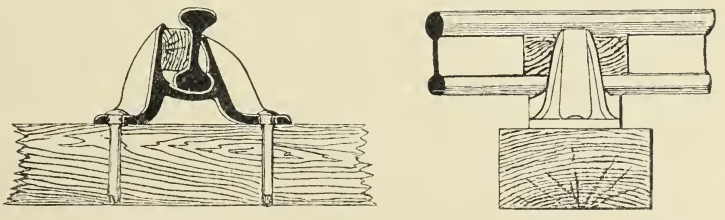


Abb. 64 u. 65. Lockes Doppelkopfschiene und Stuhllagerung.

Schiene gewendet werden und der bis dahin untere, genau gleiche Kopf als Lauffläche dienen. Es zeigte sich aber im Laufe der Jahre, daß mit einem Verschleiß des oberen Kopfes gleichzeitig ein Verdrücken des unteren an den Stuhlauflagerflächen vor sich ging. Das Wenden mußte unterbleiben, und mit der erhofften doppelten Betriebsdauer war es nichts. Aber man hatte jetzt doch eine sehr widerstandsfähige Schiene, die dem

*) Vergl. Buch der Erfindungen, Bd. IX: Troske, Die Eisenbahnen.

**) Sie hatte nach einem im Februar 1852 von dem um die Entwickelung des Eisenbahngleises verdienten Ingenieur Bridges Adams gehaltenen Vortrage über Oberbau 114 mm Höhe, 64 mm Kopfbreite und bereits ein Gewicht von 31 kg m.

größeren Lokomotivgewicht und der höheren Fahrgeschwindigkeit besser zu widerstehen vermochte, als die anderen bis dahin in England erprobten Formen. Die doppelköpfige Schiene, wegen ihrer Auflagerung in Stühlen auch kurzweg Stuhlschiene genannt, fand nunmehr ausgedehnte, schließlich fast alleinige Benutzung auf den Bahnen jenes Landes.

Um an Eisen zu sparen, gab man in der Folge den Schienen nur einen Fahrkopf, der stärker war als der untere, in den Stühlen aufruhende Kopf, und gelangte so zu der noch heute üblichen ungleichen doppelköpfigen Schiene, der bull headed oder Ochsenkopfform. Abb. 66 zeigt sie in neuerer Ausführung im Verein mit den beiden die Verbindung der Schienenenden bewirkenden Laschen, vgl. auch Abb. 87.

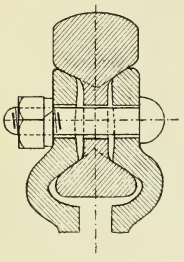


Abb. 66. Ochsenkopfschiene nebst Laschen (engl. Bahnen), 1898.

Noch bis in die 90er Jahre verlegte man die Schienen der Hauptbahnen allgemein in Längen von 9 bis höchstens 10 m; seitdem ist man zu 12 bis 15 m, vereinzelt auch bis zu 18 m übergegangen. Mit zunehmender Länge wächst allerdings die Schwierigkeit des Transportes und Verlegens, ebenso die Größe des wegen der Wärmeausdehnung unerläßlichen Zwischenraumes zusammenstoßender Schienenenden, das ist der Stoßfugen. Anderseits nimmt dafür aber die Menge des Kleineisenzeuges, also der zur Verbindung der Schienen erforderlichen Laschen, Schrauben und Unterlagsplatten ab, ebenso die Zahl der Stoßfugen.

Das auf das laufende Meter entfallende Gewicht und die heute übliche Länge der allgemein aus Flußstahl mit mindestens 6000 kg/qcm Zerreißfestigkeit gefertigten Schienen für die von Schnellzügen befahrenen Hauptstrecken ergibt nachstehende Übersicht:

Bahnverwaltung und Einführungsjahr	Gewicht von 1 m Schiene in kg	Schienenlänge in m für die Strecke	Schienenlänge in m für die Tunnel, Brücken, Wegübergänge
Preußische Staatsbahnen 1895 . . .	41,0	12	15—18
„ „ 1905 . . .	45,05	15	15—18
Sächsische „ 1896 . . .	46,0	10 u. 15	—
Österreichische „ 1903 . . .	44,0	12,5	15,0 (Arlbergtunnel)
Holländische Eisenbahn 1891	47,0	12	—
Gotthardbahn 1894	46,4*)	12	12
Belgische Staatsbahn 1887	52,0	9	9
Französische Nordbahn	45,21	12	18 u. 24
„ Westbahn	46,25**)	18	24 (Versuch)
„ Ostbahn	44,6	12 u. 18	24
Paris-Lyon-Mittelmeer	48	12	18 u. 24
Paris-Orléansbahn	42,5**)	16,51	16,51
London and North Western 1900 . .	51,0**)	18	18
Englische Midlandbahn 1896	49,77**)	10,97	18,29
„ Great Westernbahn . . .	48,37**)	13,56	18,29
Irische Great Westernbahn	47,13	12,19 u. 18,29	18,29
New York-Zentralbahn 1892	49,7	9,15	9,15

Stoßfugen. Ein Stahlstab dehnt sich bei einer Erwärmung von 0 auf 100° C um etwa $^1/_{900}$ seiner Länge aus, also bei 9 m um 10 mm. Nimmt man einen Wärmeunterschied von — 20° bis + 50° C, also = 70° an, so dehnt sich eine 9 m lange Schiene um $^{70}/_{100}$ mal 10 = 7 mm aus,

*) In den Tunneln wird wegen der stärkeren Rostbildung eine 48,5 kg/m schwere Schiene verlegt.

**) Stuhlschienenoberbau.

eine 18 m lange Schiene aber um 14 mm. Bei großer Kälte müßten also die Stoßfugen solch langer Schienen wenigstens 14 mm breit sein. Wegen geringer Längenunterschiede, die bei der Bearbeitung der Schienen auf den Walzwerken unvermeidlich sind, muß die Lücke etwa 2 mm größer genommen werden; das gibt bei scharfer Kälte für die 18 m-Schiene 16 mm Fugenbreite! Je weiter aber diese Fugen sind, desto heftiger stoßen die Räder gegen die höherstehenden Schienenenden. 18 m-Schienen sind deshalb in Preußen auf längere Tunnel beschränkt, da es in diesen nie so kalt oder so warm wird wie im Freien, hier also kleine Stoßlücken zulässig sind. Außerdem werden sie zwecks Vermeidung der Stoßfugen für kleinere Brücken, Drehscheiben und Schiebebühnen verwendet. In Frankreich hat man sogar Tunnelschienen usw. von 24 m Länge verlegt.**)

Die Pariser Stadtbahn*) hat auf ihrem im Jahre 1900 eröffneten 13 km langen Abschnitt 15 m lange Schienen verlegt, darnach nur noch 18 m-Schienen. Letzteres Maß haben auch einige englische und französische Hauptbahnen, vgl. die obige Übersicht. Stuhlschienen liegen tiefer in der Bettung als Breitfußschienen, erleiden daher nicht so starke Wärmeschwankungen.

Die Stoßfugen müssen nun beim Einbau des Gleises der dabei herrschenden Lufttemperatur angepaßt werden, müssen also im Sommer kleiner gewählt werden als im Winter. Um den Arbeitern die Sache zu erleichtern, wendet man hierfür sogenannte Dilations- oder Ausdehnungsplättchen an. Diese bestehen aus Holz oder Eisenblech und sind in bezug auf ihre Dicke durch Farbenanstrich unterschiedlich gemacht, z. B. für

heiß = weiß, lau = blau, Frost = rost (Launhardt).

Die Zwischenplättchen bleiben so lange sitzen, bis eine größere Gleislänge verlegt und mit Bettungsmaterial versehen ist.

Die Stoßfugen liegen auf europäischen Bahnen einander gegenüber (Gleichstoß), was nach Ansicht der europäischen Eisenbahningenieure einen ruhigeren Gang der Fahrzeuge zur Folge hat, als wenn jene versetzt sind (Wechselstoß). Da aber in Gleisbogen der Außenstrang eine größere Länge als der innere hat, so müssen in den letzteren einige kürzere Schienen — Ausgleichschienen genannt — eingelegt werden. Ihre Zahl und Länge richtet sich nach dem Krümmungshalbmesser und der Länge des Bogens.***) Sämtliche Kurvenschienen müssen vor dem Verlegen entsprechend durchgebogen werden. In Nordamerika versetzt man allgemein die Stöße in den Gleiskrümmungen, um die Ausgleichschienen zu ersparen. Auf vielen Bahnen drüben versetzt man sie aber auch in der geraden Strecke und zwar tunlichst so, daß der Stoß der einen Schiene der Mitte der anderen Schiene gegenüberliegt. Dieser Wechselstoßanordnung wird von amerikanischen Ingenieuren ein ruhigerer Gang der Fahrzeuge, sowie eine bessere Erhaltung der Gleislage und ihrer Spur nachgesagt.†)

Man hat sich vielfach bemüht, das Befahren der Stöße durch besondere Gestaltung der Schienenenden weniger unangenehm und in der Unterhaltung weniger kostspielig zu machen. Die älteste, auch jetzt noch fast allgemein gebräuchliche Stoßfugenform ist die in Abb. 67a dargestellte. Dieser „stumpfe" Stoß hat aber den vorerwähnten Nachteil, daß das Rad stets nur von einer Schiene getragen wird, die sich daher stark durchbiegt

*) Vgl. Troske, „Die Pariser Stadtbahn", 1905.

**) Vgl. Bulletin de la commission internationale du congrès des ch. d. f. 1904, S. 913 mit Abb. neuer Schienenquerschnitte.

***) Näheres vgl. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1892, S. 61.

†) Vgl. auch Hoff und Schwabach, Nordamerikanische Eisenbahnen. Ihre Verwaltung und Wirtschaftsgebarung 1906. S. 56.

und den heftigen Schlag des Rades gegen das höhere Schienenende veranlaßt. Um eine günstigere Radunterstützung zu erzielen, d. h. das Rad zugleich auf beiden Schienenenden ruhen zu lassen, schlug der Gießereibesitzer William Losh schon 1809 den „schrägen" Stoß nach Art der Abb. 67c vor, den 1816 G. Stephenson bei den gußeisernen Schienen der Killingworther Zechenbahn benutzte. Losh verbesserte später diesen Stoß für schmiedeiserne Schienen, indem er den Steg jeder Schiene an beiden Enden abbog, so daß im Stoß zwei volle Stege schräg nebeneinander lagen. Diese Anordnung ist in den 30er Jahren in England viel angewandt worden. Der einfache schräge Stoß unter 45°, Abb. 67b, ist wiederholt vorgeschlagen. Schon die schmiedeiserne Flachschiene der Leipzig-Dresdener Bahn 1837 (Abb. 55) hatte schräge Enden; ebenso die i. J. 1839 neu verlegten Schienen der Baltimore-Ohio Bahn.*) Diese Form bewährte sich aber bei dem damaligen weichen Schieneneisen nicht. Etwa um die Mitte der 80er Jahre wurde sie bei den harten Stahlschienen in Amerika aufs neue erprobt und ist seitdem verschiedentlich, namentlich bei Straßenbahnen, in Anwendung gebracht, auch bei der zurzeit im Bau befindlichen Jungfraubahn. Bei Hauptbahnen hat er sich nicht bewährt, bei Straßenbahnen mit geringem Raddruck und kleiner Fahrgeschwindigkeit leidlich. In jüngster Zeit schrägt man den Stoß nicht mehr unter 45° ab, sondern unter 70 bis 80° und erzielt damit besseren Erfolg, auch bei größerem Raddruck; allerdings müssen hierbei auch die Schienen genügend kräftig und schwer sein.

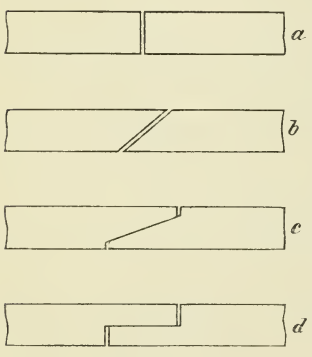


Abb. 67.
Verschiedene Stoßformen.
a stumpfer Stoß, b schräger Stoß, c schräger Blattstoß, d gerader Blattstoß.

Bei den Walzschienen der 1835 von Stephenson erbauten London-Birminghambahn kam zum erstenmal der in Abb. 67d gezeichnete „Blattstoß" zur Verwendung. Er war auch für die in jenem Jahre eröffnete Nürnberg-Fürther Bahn vorgesehen, wurde aber der Kostenersparnis halber zu gunsten des stumpfen Stoßes fallen gelassen. Mitte der 40er Jahre war er auf der bayerischen Staatsbahn benutzt. Der Blattstoß ist noch eine der besten aller bisher erprobten Stoßformen. Er ist in der Neuzeit wiederholt in Ausführung gebracht. Im Jahre 1887 wurde er vom Osnabrücker Stahlwerk mit einseitig zum Kopfe sitzendem Steg (Stegschienen) durchgebildet und zuerst 1890 bei der Hüggelbahn dieses Werkes angewendet. Unabhängig davon wurde er 1890 von Rüppel und Kohn in Köln bei der linksrheinischen und etwas später in ähnlicher Form bei der österreichischen Staatsbahn für Schienen mit dickem Steg (Dickstegschienen) verwendet. Die Rüppell-Kohnsche Bauart erfordert nämlich Schienen von 18 mm Stegstärke, damit außer Kopf und Fuß auch der Steg auf die ganze Stoßlänge (= 23 cm) in der Mitte geteilt, d. h. zur Hälfte fortgenommen werden kann. Beide Schienenenden treten also im Stoß mit je dem halben Querschnitt zusammen, so daß hier der Steg wieder 18 mm dick ist. Man büßt bei dem Blattstoß allerdings an jeder Schiene 23 cm Länge ein, hat aber eine gute Schienenverbindung erzielt, die durch geringeren Verschleiß und kleinere Unterhaltungskosten die teuerere Anlage mehr oder weniger ausgleicht, ganz abgesehen von dem besseren Gang

*) F. v. Gerstner, Die inneren Kommunikationen der Vereinigten Staaten von Nordamerika 1843, Bd. II, S. 205.

der Fahrzeuge. Er ist auf der Berliner Stadtbahn und zahlreichen anderen stark befahrenen Strecken zur Anwendung gekommen; wird jedoch jetzt vorzugsweise nur auf größeren Brücken verlegt, um das Geräusch beim Überfahren der Züge zu dämpfen und die Brückenkonstruktion zu schonen.

Die Osnabrücker Stegschiene wird so verlegt, daß der Steg nach Abb. 68 bis 72 abwechselnd rechts und links vom Stoße liegt. In diesem liegen somit zwei volle Stege nebeneinander, was im Verein mit den kräftigen langen Laschen die Verbindung sehr widerstandsfähig macht. Haarmann hat den Wechselsteg-Blattstoß für die verschiedensten Oberbauarten durchgebildet. Er ist auf Hauptbahnen zwar erst versuchsweise verlegt worden, dagegen in ausgedehnterem Maße auf Kleinbahnen einschließlich Straßenbahnen (Hannover usw.), ferner in 26 km Länge auf der elektrisch betriebenen Schwebebahn Barmen-Elberfeld-Vohwinkel.

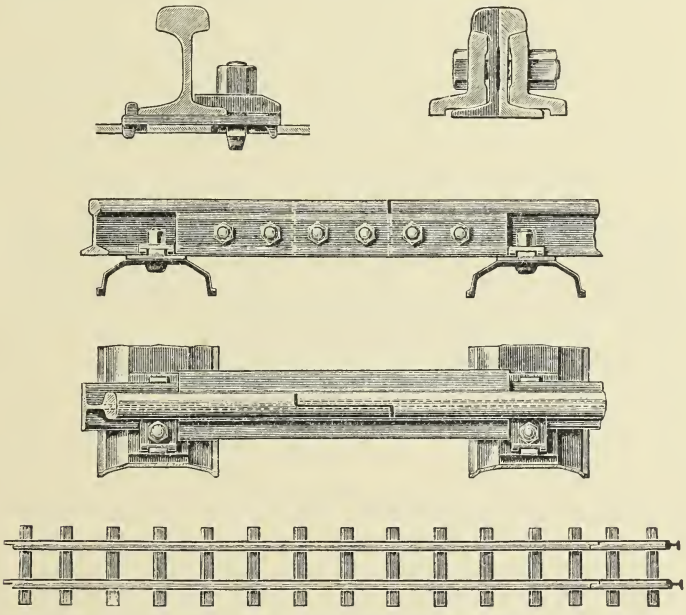


Abb. 68—72. **Haarmanns Wechselsteg-Blattstoß für die Kleinbahn Kirchlengern-Wallücke** (Spurweite 60 cm).

Laschen. Die ersten gußeisernen Schienen waren mit den unmittelbar auf den Steinwürfeln oder Schwellen ruhenden Enden nur mit diesen, nicht aber untereinander verbunden. Als man gußeiserne Auflagerstühle einführte, dienten diese zugleich als Verbindungsmittel der Schienenenden (Abb. 50). Die Schienenstöße waren also unmittelbar unterstützt. Diese Anordnung wurde „fester“ oder „ruhender“ Stoß genannt. Man behielt ihn auch bei den Walzschienen lange Jahre bei. Die ersten Breitfußschienen wurden bereits von Stevens durch flache Eisenstücke, Laschen genannt, und Schraubbolzen miteinander verbunden. Ihr Stoß war durch eine Schwelle unmittelbar unterstützt.

Im Jahre 1847 führte Bridges Adams den „schwebenden“ Stoß, Abb. 73, ein. Die auf beiden Seiten der Schienen eingelegten Laschen waren mit den Schienenenden nicht weiter verbunden, wurden vielmehr durch die beiden Stühle gehalten. Die Schienen konnten sich hierbei zwar ungehindert ausdehnen und zusammenziehen, aber man hatte einen besonderen Laschenstuhl nötig, was unbequem war. Barlow verband

deshalb später die Laschen mit den Schienen durch vier Schraubbolzen. Die Schienenlöcher wurden der genannten Schienenbewegung wegen größer gemacht als die Laschenlöcher. Schließlich wurden die gußeisernen Laschen durch schmiedeiserne ersetzt. Damit war um das Jahr 1849 eine wesentliche Verbesserung im Oberbau erreicht und die nach Verlauf von 50 Jahren auch heute noch verbreitetste Form des Schienenstoßes geschaffen. Seine Vorzüge: Elastizität des Gleises und infolgedessen sanfteres Fahren, sowie Schonung der Radreifen und Schienen verdrängten den ruhenden Stoß nach und nach fast völlig.

Eine wirksame Verlaschung konnte allerdings erst Platz greifen, nachdem die birnenförmige Gestalt des Schienenkopfes (Abb. 51 u. 64) durch die scharf unterschnittene ersetzt wurde; denn nunmehr wirken die Laschen wie Keile und sichern die gegenseitige Lage der beiden Schienenenden, wenigstens so lange, wie keine Zerstörung und Verdrückung des Eisens oder Stahles am Stoße erfolgt ist und solange die Laschen den Schienensteg nicht berühren. Anfangs nur dünn und kurz, sind die Laschen immer länger (bis zu 90 und vereinzelt selbst bis 102 cm) und kräftiger gestaltet worden. Die einfache Stabform ist bei Hauptbahnen ziemlich allgemein durch die viel widerstandsfähigere Winkel- und Haken- oder **Z**-Lasche verdrängt worden (vergl. Abb. 66, 83 u. 84). Die Laschen

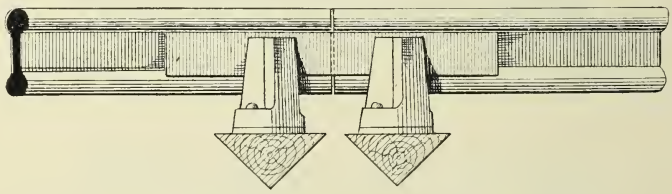


Abb. 73. **Schwebender Schienenstoß von Bridges Adams, 1847.**

müssen aus gleichem Material wie die Schienen bestehen (Stahl), damit sie genügend widerstandsfähig sind und nicht sobald in ihrer Höhe abgenutzt werden. Manche Bahnverwaltungen, darunter auch die der preuß. Staatsbahnen, verwenden für die Laschen einen etwas weicheren Stahl als für die Schienen, um die unvermeidliche Abnutzung vorzugsweise auf die erstere zu übertragen, da diese leichter und billiger zu ersetzen sind als die Schienen. Zur Verbindung der Laschen mit den Schienen dienen mindestens vier Schrauben, neuerdings vielfach sechs, vergl. Abb. 68 u. 84, deren Muttern gegen Lockerwerden gesichert werden müssen. Hierzu dienen u. a. federnde Ringe, Abb. 74, deren Federkraft die Mutter fest gegen das Bolzengewinde preßt, vergl. auch Abb. 77.

Damit die Bolzen beim Anziehen der Muttern sich nicht drehen, haben sie am Kopfende elliptischen Querschnitt, der sich in ein ebenso geformtes Loch der Außenlasche legt, während die Innenlasche den hier zylinderischen Bolzen eng umschließt.

Um der Ausdehnung der Schienen trotz der festen Laschenverbindung Rechnung zu tragen, werden die Schraubenlöcher in den Schienen länglich (oval), oder kreisrund gestaltet. In letzterem Falle sind sie natürlich größer als der Schraubendurchmesser. Auf den preuß. Staatsbahnen z. B. sind die Laschenbolzen 22 mm dick, die Schienenlöcher bei 12 m langen Schienen 30 mm weit und bei größerer Schienenlänge 33 mm.

Auf amerikanischen Bahnen hat man versucht, die Stoßmängel durch brückenartige Laschen, welche auf den beiden, der Schienenfuge benachbarten Stoßschwellen fest aufruhen, zu beseitigen. Auch diese Anordnung

ist alt. Schon im Jahre 1849 führte J. Fowler auf der East Lincolnshire Bahn eine gußeiserne Stoßbrücke, wie diese Verbindung neuzeitlich genannt wird, nach Abb. 75 ein. Sie hatte verschiedene ähnliche Bauarten im Gefolge, aber alle verschwanden wieder aus den Fahrgleisen, um später in verbesserter Form in Nordamerika als „Fischerstoß" neu zu erstehen. Dessen vorzeitige Erfolge riefen zahlreiche Abarten in jenem Lande hervor. Ein um 1890 auf den preußischen Staatsbahnen mit der amerikanischen Stoßbrücke gemachter Versuch schlug fehl.*)

Hierher gehört auch die Stoßfangschiene, die anfangs der 90er Jahre aufkam und viel von sich reden machte. Sie besteht aus einem auf den Stoßschwellen ruhenden Schienenstück, das an beiden Enden abgeschrägt ist und sich gegen die Außenseite der Fahrschienen lehnt. Infolgedessen laufen die Räder sanft und allmählich auf sie über — wodurch die Fahrschienen entlastet werden — um nach Passieren der Stoßfuge ebenso wieder auf die Fahrschiene überzutreten. Beide Schienen lagern auf den Schwellen auf einer gemeinsamen Unterlagsplatte. Solange eine nennenswerte Abnutzung, namentlich auch an den Rädern, nicht eingetreten ist, wirkt diese Stoßverbindung günstig: das hämmernde Geräusch ist beseitigt und die Fahrzeuge rollen sanft über sie fort. Da aber die Schienen sich ungleich abnutzen, auch stark ausgelaufene Radreifen nichts seltenes sind, so

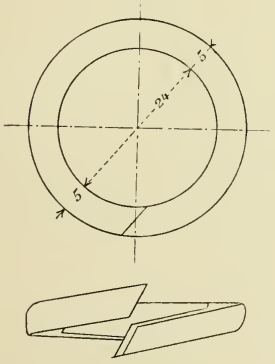


Abb. 74. Federring.

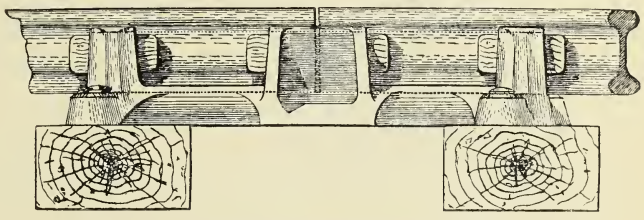


Abb. 75. Älteste Form der Stoßbrücke, 1849.

treten in solchen Fällen heftige Stöße an den Stoßfangschienen auf. Auf den preußischen Staatsbahnen z. B. sind deshalb die Versuche mit diesen wieder aufgegeben.**)

Trotz aller Laschenverstärkung und des verringerten Abstandes der Stoßschwellen sind die Schienenstöße doch nach wie vor der schwache Punkt im Gleise. Eine anfangs sehr geringe Senkung des einen Schienenendes gegen das andere beim Darüberrollen der Räder tritt dennoch ein, auch beim ruhenden Stoß, die Folge ist ein harter Schlag des Rades gegen das höherstehende Schienenende. Durch die ständige Einwirkung dieser Schläge tritt allmählich Lockerung in der Stoßverbindung ein, und die Radschläge werden heftiger und hörbarer. Es ist dieses das bekannte „Tacke-Tacke"-Geräusch, das bei der Fahrt von den Reisenden wahrgenommen wird, das tagsüber die Nerven angreift, nachts oft den Schlaf raubt, mindestens aber eine sehr unangenehme Reisezugabe, namentlich in den nicht gepolsterten Personenwagen ist. Hunderte von Stoßverbindungen sind schon in den verschiedenen Eisenbahnländern vorgeschlagen

*) Über neuere Stoßbrücken vergl. „Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen", 1901, Bd. I S. 208; „Organ f. d. Fortschr. des Eisenbahnwesens", 1901, S. 65.

**) Näheres über die Ergebnisse vergl. 1) „Zentralblatt der Bauverwaltung", 1902, S. 157, desgl. 1903, S. 561 u. 643; 2) „Glasers Annalen für Gewerbe u. Bauwesen", 1904, Bd. 54, S. 221; 3) „Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw.", 1904, S. 81.

und auf solche zahlreiche Patente genommen, Hunderte von Verbesserungsvorschlägen sind schon gemacht und in großer Zahl ausprobiert. Dahin gehört auch die i. J. 1893 auf der Weltausstellung in Chicago von der „Continuous Rail Joint Co. of America" zur Schau gebrachte und seitdem auf amerikanischen Bahnen benutzte Fußlasche, die sechs Jahre später vom Hüttenwerk Phönix in Ruhrort bei uns eingeführt wurde, Abb. 76 u. 77. Hier wird auch der Schienenfuß als Anlagefläche für die Laschen nutzbar gemacht und dadurch nicht nur die Berührungsfläche zwischen Schiene und Lasche vermehrt, sondern auch den beiden Schienenenden des Stoßes eine gemeinsame Unterstützung gegeben. Die Laschen werden mit dem Hammer fest auf den Schienenfuß aufgetrieben, damit sie gut zur Anlage kommen, und durch sechs Schrauben mit den Schienen verbunden. Sie haben sich auf der alten Berliner Stadtbahn bewährt*), für Straßenbahnen (Abb. 77, Rillenschienen) werden sie sehr gelobt, da sie die Unterhaltungskosten wesentlich mindern. Auf Lokomotivbahnen ist jedoch selbst diese kräftige Stoßverbindung auf die Dauer den Kräfteangriffen des Betriebes nicht gewachsen, ebensowenig die große Schar ihrer Nach- und Umbildungen**), die sie gefunden hat. Noch haben wir keinen allen Anforderungen auf

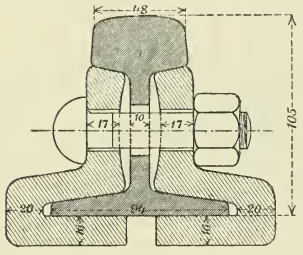


Abb. 76. **Fußlasche für Breitfußschienen.**

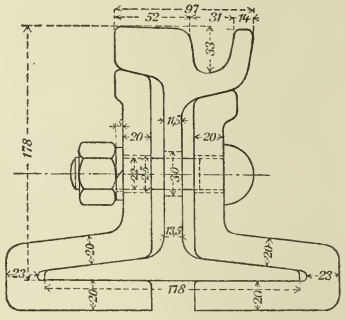


Abb. 77. **Fußlasche für Rillenschienen.**

die Dauer standhaltenden Schienenstoß. Liegt auch neu verlegt das Gleis gut und fährt es sich sanft über dessen Stöße, mit der Zeit kommt doch die unvermeidliche Abnutzung hinein und der alte Zustand früherer Gleise ist wieder da. Könnte man die Stöße ganz vermeiden, so wäre das Übel beseitigt. Schon Birkinshaw wollte durch Zusammenschweißen seiner 15füßigen Walzschienen größere Schienenlängen zwecks Verminderung der Stoßzahl einbauen. Diese Verbindung ist aber bei Lokomotivbahnen unstatthaft, da die Gleise sich im Sommer stark verwerfen (krumm werden) und im Winter häufig abreißen würden.

In Amerika hat man vor wenigen Jahren auf einzelnen Straßenbahnen die Schienenstöße elektrisch zusammengeschweißt. Bei diesen Bahnen liegen die Schienen im Gegensatz zu den Lokomotivbahnen bis an die Kopffläche in dem Straßenkörper, sind also besser gegen die Wärmeeinwirkung geschützt. Immerhin ist diese doch noch so stark, daß im Winter beim Zusammenziehen des Schienenstranges ein Abreißen an

*) „Glasers Annalen", 1901, Bd. 49, S. 176.

**) Vergl. Ast, „Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chem. de fer", 1900, S. 6327; „Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw.", 1900, S. 130; „Glasers Annalen", 1901, Bd. 48, S. 204; Zimmermann, „Bedingungen einer dauerhaften Schienenstoßverbindung" im „Zentralblatt der Bauverwaltung", 1892, S. 3; Haarmann: „Das Eisenbahngleis." Kritischer Teil, 1902, S. 217; „Zeitschrift d. österr. Ingenieur- u. Arch.-Vereins", 1905, S. 227.

mehreren Stellen eintritt, dagegen im Sommer ein seitliches Ausbauchen. Letzteres hat Lockerungen im Pflaster, Verdrückungen in der Asphaltbahn zur Folge. Auch in Lyon, Rouen usw. hat man Versuchsstrecken mit verschweißten Schienen verlegt.

Bei den Berliner Straßenbahnen ist im Jahre 1898 die metallische Verbindung der Schienenenden nicht durch Schweißen, sondern durch Umgießen von Fuß und Steg mit Gußeisen bewirkt (Falkscher Stoß). Hierbei wurde eine zweiteilige Gießform sowie ein fahrbarer Gießofen benutzt, dessen Gebläseluft ein durch Dampfturbine angetriebenes Gebläse lieferte.*) Die Schienen werden bei diesem Verfahren gut miteinander verbunden. Das Vergießen der Schienenstöße ist übrigens nichts Neues. Schon 1852 wandte es der Engländer S. Norris bei Eisenbahngleisen an. Auch er bediente sich hierbei eines fahrbaren Gießofens. Das Falksche Umgießverfahren wurde zuerst im Jahre 1894 in Milwaukee angewendet. Neuzeitlich wird es mehr und mehr durch das einfachere Goldschmidtsche Thermitverfahren verdrängt, bei dem weder ein Gießofen noch ein Gebläse notwendig ist und doch die Schienenenden gut umgossen werden, und zwar mit Schmiedeisen. Die hierbei erforderliche hohe Schmelzwärme wird durch Verbrennen einer Aluminium-Eisenoxydmischung — Thermit genannt — erzeugt.**) Wie beim Falkschen Stoß wird auch hier nur der Steg und Fuß der Schienenenden umgossen, so daß der Schienenkopf frei bleibt und nicht durch die sonst eintretende große Erwärmung leidet. Zwecks Ausgleichs der Temperatureinflüsse werden bei den so umgossenen Schienen in Abständen gleich einem Vielfachen der Schienenlänge offene Stoßfugen belassen; auch werden zur Schonung der Straßendecke Holzklötze neben die Schienen im Verband eingelegt.

Gleisbau.

Je nach der Schienenunterstützung unterscheidet man: 1) Querschwellen-Oberbau, 2) Langschwellen-Oberbau, 3) Oberbau mit Einzelstützen, 4) Oberbau ohne besondere Unterstützung (Schwellenschienen), und nach der Schienenform: a) Breitfußschienengleise, b) Stuhlschienengleise. a) und b) finden heutigestags bei 1) und 3) Verwendung, 2) und 4) werden mit der Breitfußschiene verlegt. Hölzerne Querschwellen haben sich am besten bewährt und sind auch zur Zeit noch vorherrschend. Die Schienen ruhen auf ihnen elastischer als auf Eisen, dabei lassen sich die Schwellen gut und sicher mit Bettungsmaterial: Kies***), Steinschlag, Hochofenschlacke unterstopfen, so daß ein solcher Oberbau auch fest in der Bettung liegt. Letztere muß auf Hauptbahnen eine Dicke von mindestens 20 cm unterhalb der Schwellen haben, damit der Raddruck genügend auf den Unterbau bezw. Untergrund verteilt wird. Das Bettungsmaterial muß daher druckfest und dabei wasserdurchlässig sein.†) Um das Holz gegen

*) Näheres in Glasers Annalen f. G. u. B. 1898, Bd. II, S. 4.

**) Vergl. näheres in „Mitteilungen des Vereins deutscher Straßen- und Kleinbahnverwaltungen", 1901, S. 431.

***) Der Kies muß tunlichst frei von Sand sein, da er sonst u. a. zur Staubbildung in den trockenen Monaten Anlaß gibt, eine der unangenehmsten Plagen zur sommerlichen Reisezeit. Gewaschener Flußkies ist empfehlenswert. Englische Bahnen verwenden auch vielfach Hochofenschlacke. Auf amerikanischen Bahnen wird häufig ein höchst mangelhafter Kies zur Bettung genommen. Haben dortige Bahnen den besseren, freilich auch teureren Steinschlag oder Schlacken usw. benutzt, so heben sie diesen Vorzug in ihren Reklamefahrplänen ganz besonders hervor und preisen ihn als eine hohe Annehmlichkeit des Fahrens auf ihrer Linie.

†) Vgl. Schubert, Schwellenabstand und Bettungstoff im Eisenbahngleise 1897; desgl. derselbe in Zeitschrift für Bauwesen 1897, S. 207.

Fäulnis zu schützen, tränkt man es nach Austreibung seines Saftes mit schützenden Flüssigkeiten (Kupfersulfat, Teeröl, Zinkchlorid), die unter starkem Drucke hineingepreßt werden. Hierzu dienen besondere Schwellen-Tränkungsanstalten. Eiche hat sich am besten bewährt, dann kommt Lärche, Kiefer (namentlich nordische), sodann Fichte, während ungetränkte Buche die geringste Lebensdauer zeigt. Durch das Tränken wird letztere wesentlich erhöht, wie nachstehende Übersicht ergibt:

Mittlere Lebensdauer der Schwellen:

Holzart	Ohne Tränkung	Mit Tränkung
Eiche	14	21
Lärche	9	17
Kiefer	7	16
Fichte	4	13
Buche	3	12—15

Bei dem großen Bedarf an Schwellen kann Deutschland genügend Eichenholz hierfür nicht mehr liefern und ist auf den Bezug aus Ungarn usw. angewiesen. Dagegen gestatten seine ausgedehnten Kiefern- und Buchenwälder eine Deckung des Bedarfs. Da Kiefernholz etwa halb so teuer wie Eiche ist, Buche ebenfalls billiger als diese, so ist die Verwendung von Kiefern- und Buchenschwellen von hervorragender Bedeutung für die deutsche Forstwirtschaft. Die preußischen Staatsbahnen bedürfen jährlich etwa vier Millionen neuer Holzschwellen. Der Anschaffungspreis beläuft sich für

eine mit Chlorzink getränkte Kieferschwelle . 4,85 Mark,
„ „ Teeröl „ Buchenschwelle . 6,45 „

Früher besaßen die Querschwellen in Deutschland 2,5 m Länge bei etwa 25 × 16 cm Querschnitt und lagen weiter auseinander als jetzt. Nach englischem Vorbilde verwendet man sie seit einigen Jahren 2,7 m lang und gibt ihnen auch einen geringeren Abstand voneinander. Auf den preußischen Staatsbahnen werden bei 12 m langen Schienen je nach dem Schienenprofil und der Verkehrstärke (Haupt- und Nebenbahn) 13 bis 18 Schwellen auf eine Schienenlänge verlegt und 21 bis 24 bei 15 m langen Schienen. An den Stößen wird der Schwellenabstand bis auf 50 cm herabgemindert. Ihre von Schnellzügen befahrenen Hauptgleise sind bezw. werden mit 41—45 kg/m schweren und 12—15 m langen Schienen verlegt. Als Bettung wird Basaltschlag verwendet. Hierdurch ist ein vortrefflicher Oberbau geschaffen, der den neuzeitlichen Anforderungen des Verkehrs nach jeder Richtung hin gewachsen ist, vergl. auch Abb. 83 u. 84.

Die Schienen werden durch die Seitenstöße der Räder sowohl auf Kippen um die äußere Fußkante, als auch auf Verschiebung nach außen beansprucht. Sie müssen deshalb sehr sicher auf den Unterlagen befestigt werden. Hierzu dienen bei der Breitfußschiene entweder Hakennägel, Abb. 78—80, oder die in Frankreich zuerst (1863) verwendeten Schrauben (tire-fonds), Abb. 81 u. 82. Erstere sind mit einer Schneide ausgestattet, die winkelrecht zur Faserrichtung des Holzes eingetrieben wird, damit die Nägel fester in letzterem haften. Auf den preußischen Staatsbahnen werden bei Neuanlagen Nägel nicht mehr verwendet, sondern nur noch Schrauben. Die Löcher für letztere werden vorgebohrt und zwar durch die ganze Schwelle. Damit die Breitfußschienen unter den starken Radlasten (in Deutschland bis 8000 kg, in England bis 10 000 kg und in Amerika vereinzelt bis über 13000 kg) nicht die Schwellen zu sehr

angreifen, legt man vielfach unter sie schmiedeiserne Unterlagsplatten. Abb. 83 u. 84 zeigen die Befestigungsart der preußischen Staatsbahnen.*) Die Unterlagsplatte hat hier eine Auflagerfläche von etwa 16 × 25 cm = 400 qcm, was eine gute Druckverteilung auf die Schwellen ergibt.

Seit einigen Jahren wird die „Hakenplatte“ (vgl. Abb. 94) bevorzugt. Zweckmäßig wird die obere Begrenzungsfläche der Unterlagsplatten mit 1 : 20 gegen die Wagerechte geneigt angeordnet, damit die Schienen nach der Gleismitte hin um dasselbe Maß gegen die Senkrechte geneigt

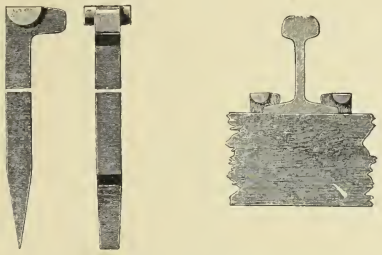


Abb. 78—80. Hakennagel.

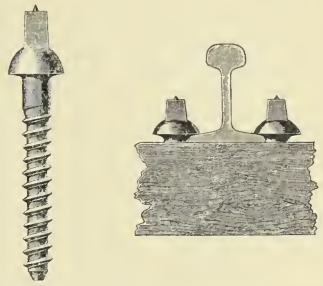


Abb. 81 u. 82. Schwellenschraube.

stehen, Abb. 86. Durch die Schrägstellung der Schienen wird eine bessere Führung der Räder im Gleise und ein ruhigerer Gang der Fahrzeuge gesichert (vergl. Abschnitt „Wagen“), auch widerstehen hierbei die Schienen besser dem Kippen. Wo man keine Unterlagsplatte mit schräger Fläche verwendet, müssen die hölzernen Querschwellen unter dem Schienenfuß durch Hobeln oder „Kappen“ schräg ausgearbeitet (gedexelt) sein, während eiserne Querschwellen an beiden Enden entsprechend gebogen werden. Schwellen, auf denen die Schienen unmittelbar aufruhen, werden durch die Druck- und Stoßwirkungen schneller zerstört als solche

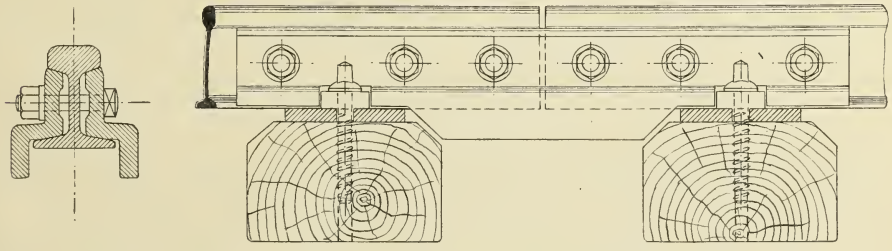


Abb. 83 u. 84. Stumpfer Gleisstoß der preußischen Staatsbahnen, 1905.

mit Unterlagsplatten. Letztere verteilen bei genügender Größe die Raddrucke auf eine größere Schwellenfläche. Von mancher Seite wird den Eisenplatten aber hartes Fahren sowie stärkere Schienenabnutzung nachgesagt. Die französische Nord- und Ostbahn verwenden deshalb Zwischenlagen aus dünnem, mit Teeröl getränktem Pappel- oder Buchenholz. Auch die im Jahre 1900 eröffnete Pariser Stadtbahn hat seit 1902 statt der Eisenplatten Pappelholzunterlagen von 5 mm Dicke eingeführt, da über hartes Fahren auf der Linie Nr. 1 geklagt wurde.**) Von mancher

*) Vergl. „Oberbaubuch der preuß. Staatsbahnen“; desgl. „Glasers Annalen“, 1898, Bd. 42, S. 81, Aufsatz von Prof. Goering: Neuere Bestrebungen zur Verbesserung des Oberbaues auf deutschen Eisenbahnen.

**) Näheres in Troske, „Die Pariser Stadtbahn“, 1905, S. 96.

Seite wird übrigens dieser geneigten Schienenlage kein Wert beigemessen. So ist z. B. die früher hierfür bestehende Vorschrift in den „Normen für den Bau der Eisenbahnen Deutschlands“ seit 1892 in Fortfall gekommen. Dennoch sind senkrecht gestellte Schienen bis jetzt selten und, abgesehen von den Weichen, meist auf Kleinbahnen beschränkt (Kleinbahn Kirchlengern-Wallücke, elektrische Hoch- und Untergrundbahn Berlin).

Der größere Teil der Holzschwellen geht im Betriebe nicht so sehr durch Fäulnis, als durch die mechanischen Kräftewirkungen zugrunde. Um die Haltbarkeit der Weichholzschwellen (Kiefer usw.) zu vergrößern, führte der französische Ingenieur Collet im Jahre 1896 das Verdübeln der Schwellen ein. Hierbei werden an jeder Befestigungsstelle der Schienen zuvor 2 bis 4 mit starkem Schraubengewinde versehene Holzdübel in die Schwelle eingeschraubt, in deren Bohrung dann die Schienenschraube eingedreht oder der Schienennagel eingetrieben wird, Abb. 85 u. 86. Diese Schwellendübel werden aus lufttrockenem Weißbuchenholz (Knüppelholz) hergestellt und 12 Stunden lang mit Teeröl getränkt. Sie sind am unteren Ende mit einer Kappe oder Zwinge aus Stahlblech

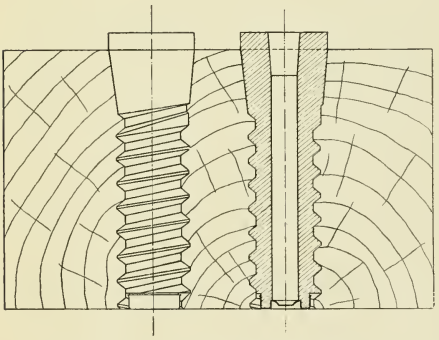


Abb. 85. Eingeschraubte Dübel.

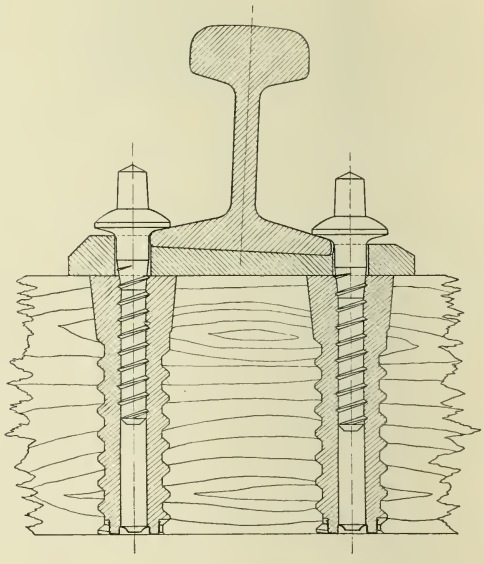


Abb. 86. Schienenbefestigung.

Abb. 85 u. 86. Verdübelung kieferner Schwellen.

versehen, die das Aufreißen beim Einschrauben hindern soll. Der in Abb. 85 sichtbare, aus der Schwelle herausragende zylindrische Ansatz, der dem Einschrauber den nötigen Halt gibt, wird nach dem Einschrauben abgefräst. Die Unterlagsplatten der Schienen ruhen sonach auf den widerstandsfähigen Hartholzdübeln und zwar auf Hirnholz. Die Schienenschrauben haften in ihnen besonders gut, so daß eine sichere Spurerhaltung, namentlich auch in den Gleisbogen, hierbei gewährleistet ist. Dieses Verdübelungsverfahren ist besonders auch bei alten Schwellen mit Vorteil zur Anwendung gebracht. Es stand zuerst in ausgedehntem Maße auf französischen und spanischen Bahnen in Benutzung. Die preußischen, bayerischen, württembergischen, reichsländischen und andere Staatsbahnverwaltungen lassen alljährlich größere Mengen alter und neuer Schwellen nach diesem Verfahren verdübeln*), ebenso eine Anzahl

*) Durch die „Dübelwerke“ in Frankfurt a. M. Über den Arbeitsvorgang bei diesem Verdübeln und die dazu erforderlichen Einrichtungen vergl. „Glasers Annalen“, 1903, Bd. 53, S. 185; Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1905; Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins 1905, Nr. 36 und 37.

von Privatbahnverwaltungen. Der schwere Oberbau der Berliner Militärbahn, auf dessen Abschnitt Marienfelde-Zossen die denkwürdigen Schnellfahrten mit 200 km/st im Jahre 1903 stattfanden, ist mit verdübelten neuen Kiefernschwellen hergerichtet worden; desgleichen die Schnellzugstrecke Ulm-Friedrichshafen usw. Das Verdübeln der Schwellen erfolgt bei einer Schwellenzahl unterhalb 5000 von Hand, bei größerer Anzahl jedoch durch elektrisch betriebene Maschinen.

Der Stuhlschienen-Oberbau ist in England nahezu alleinherrschend. Auch in Frankreich wird er vielfach benutzt. In Deutschland sind seinerzeit umfassende Versuche damit angestellt und längere Strecken, wie z. B. auf der Potsdam-Magdeburger Bahn, mit ihm belegt worden. Man wählte hier aber zu leichte Stühle, auch trat ein häufiges Lockerwerden der Schienen ein, so daß sich dieser Oberbau bei uns keines guten Rufes erfreute. Anfangs der 90er Jahre haben dann wieder die badischen Bahnen und die Eisenbahndirektion Hannover Versuchsstrecken mit dem schweren Oberbau der Midlandbahn belegen lassen, die Versuche sind günstig ausgefallen. In England und in Frankreich hat man stets die besten Erfahrungen mit diesem Oberbau gemacht. Bei ihm werden die Schienen in den Stühlen durch prismatische Keile aus hartem, mit Kreosot getränktem Holze gehalten. Schon Locke hatte sie seit etwa Mitte der 30er Jahre verwendet, zuerst auf der Liverpool-Manchester Bahn. Das von ihm damals angegebene Verfahren, sie vor ihrem Verlegen auf kräftigen Wasserdruckpressen in eisernen Formen stark zusammenzudrücken, um sie zwecks leichteren Eintreibens in die Stühle auf tunlichst gleiche Gestalt zu bringen, wird heute noch in England allgemein geübt. Scharf zwischen Stuhl und Schiene eingetrieben, sichern diese Keile deren Lage, zumal im feuchten Klima. Gewöhnlich liegen sie an der Außenseite der Schienen, so daß die Seitenstöße der Räder durch das elastische Holz aufgefangen werden.

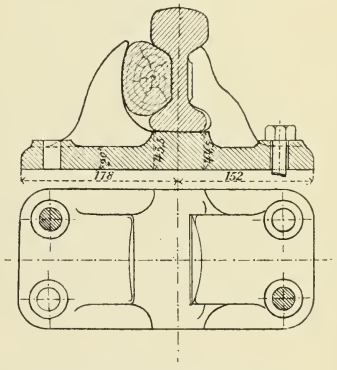


Abb. 87. Schienenstuhl der Londoner Untergrundbahnen.

Abb. 87 zeigt einen neueren Schienenstuhl. Seine Auflagerfläche ist beträchtlich, 33 × 16 cm = 528 qcm, liefert also eine sehr gute Druckverteilung. Dabei wird er recht kräftig ausgeführt und wiegt auf den verkehrsreichen englischen Hauptlinien über 20 kg; einzelne Bahnen verwenden seit 1896 bis 26 kg schwere Stühle. Man vergleiche damit die 11 kg schweren Stühle der Magdeburg-Potsdamer Bahn oder die 4 bis 4,8 kg schweren Stühle der Nürnberg-Fürther Linie oder auch die englischen Stühle vom Jahre 1832, welche nur 6 kg Gewicht besaßen, um die neuen Fortschritte auch auf diesem Gebiete recht zu würdigen. Beachtet man nun, daß auf den englischen Bahnen seit vielen Jahren schon die Querschwellen — aus nordischem Kiefernholze hergestellt — 9′ = 2,74 m lang genommen und eng verlegt sind, daß sie infolge der hohen Stühle gut mit Bettung überdeckt sind, also verhältnismäßig fest in dieser liegen, daß ferner die Schienen schwer und durch die Stühle wirksam gegen Kippen geschützt werden, so wird klar, warum die Züge der englischen Hauptbahnen sich von jeher durch so ruhigen, sanften Gang auszeichnen. Die Engländer haben eben frühzeitig erkannt, daß, je schneller gefahren wird, desto heftiger die Radstöße, namentlich die der Lokomotiv-Treibräder auftreten und desto widerstandsfähiger und

schwerer der Oberbau sein muß. In bezug auf dessen Eigengewicht steht England und seit kurzem auch Nordamerika obenan. Dort sind freilich auch die Radbelastungen stellenweise am größten. Beispielsweise wiegt ein Meter Oberbau mit hölzernen Querschwellen:

Londoner Untergrundbahnen (1886)	275 kg
Midlandbahn (1896)	264 „
Französische Westbahn (Stuhlschiene) (1889) .	253 „
Preußische Staatsbahnen (1885) . . .	140 bis 180 „
„ „ (1895) . . .	151 „ 237 „

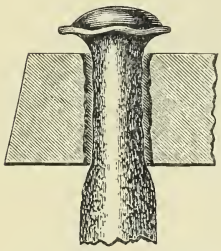


Abb. 88. Abgenutzter Schienenstuhlnagel.

Abb. 89 u. 90. Ungepreßter und gepreßter Holzdübel für Schienenstühle.

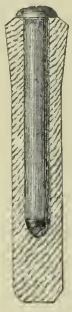


Abb. 91. Englischer Holzdübel mit Eisennagel.

Befestigt werden die Stühle auf den Schwellen gewöhnlich durch zwei eiserne Schrauben bezw. Rundnägel und zwei hölzerne Dübel, die übereck angeordnet werden, so daß auf jeder Schienenseite je ein Nagel und ein Dübel sich befinden. Die Befestigung nur durch Eisennägel hat sich nicht bewährt, da letztere nach Abb. 88 bald durch die Seitenstöße und durch Rost stark abgenutzt werden. Die Holzdübel — aus Eichenholz hergestellt, scharf gepreßt und vielfach auch getränkt — sollen die Seitenstöße aufnehmen, die Nägel dagegen die Stühle fest gegen die Schwellen halten. Abb. 89 u. 90 zeigen die übliche Dübelform vor und nach dem Pressen. Sie wurden 1841 von Ransomes & May zuerst angewendet. Manche Bahnen treiben auch durch den vorgebohrten Dübel noch einen eisernen Nagel, Abb. 91, um seine Widerstandsfähigkeit gegen Abscheren zu erhöhen. Die Sicherung der Schienen in den Stühlen durch Keile gestattet ein schnelles Auswechseln schadhafter Schienen, was für Strecken mit lebhaftem Tages- und Nachtverkehr besonders wichtig ist. Auf den von London auslaufenden Hauptlinien verkehren am Tage vorzugsweise Personenzüge, nachts dagegen Güterzüge, beider Zahl ist eine ungemein große. Abb. 92 zeigt den Stuhlschienen-Oberbau der London und North Westernbahn, einer der ersten Bahnen Englands.

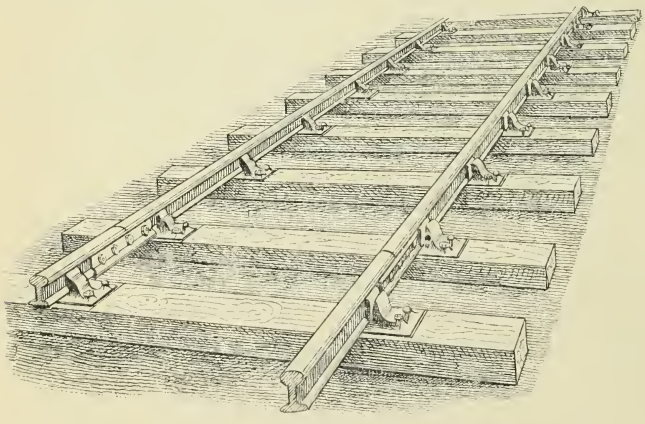


Abb. 92. Stuhlschienen-Oberbau der London und North Western-Eisenbahn, 1890.

Die Bestrebungen, Eisenschwellen zu verwenden, sind schon 45 Jahre alt. Die ersten Versuche scheiterten aber alle an zu geringen Abmessungen der Schwellen, die man aus Sparsamkeitsgründen wählte. Die heute auf den preußischen Staatsbahnen benutzte flußeiserne Querschwelle ist in Abb. 93 im Querschnitt dargestellt. Die Eisenbahnschwellen werden in größeren Längen gewalzt, auf der Kreissäge zerteilt, zwecks Erzielung der Schienenneigung auf großen Pressen durchgebogen und mit Löchern für die Schienenbefestigung versehen. Verzichtet man auf das Durchbiegen, so muß man keilförmige Unterlagsplatten unter den Schienenfuß legen, Abb. 94. Dieses letztere Verfahren verleiht der Schwelle eine längere Betriebsdauer, ist daher das zweckmäßigere. In England werden die Eisenschwellen sowie alles zugehörige Kleineisenzeug zum Schutze gegen Rost in warmem Zustande mit Teer überzogen. Sie finden namentlich in holzarmen Gegenden und in Ländern Verwendung, wo das Holz durch Ameisen und klimatische Einflüsse bald zerstört würde; auch in Deutschland, Österreich und der Schweiz sind sie vielfach verlegt worden.

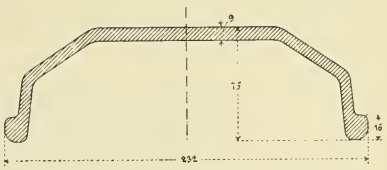


Abb. 93. Querschnitt einer flußeisernen Querschwelle.

Das Festhalten des Schienenfußes wird hier durch winkelförmige Klemmplättchen und Schrauben nach Abb. 68 bis 72 sowie 94 bewirkt. Neben einer sehr wirksamen Verbindung gestatten sie durch Wahl verschiedener Zapfenbreite eine einfache Herstellung der weiter unten erörterten Spurerweiterung und verhindern durch eine einfache Ausklinkung der Laschen, in die sie gesetzt werden, das Wandern der Schienen (s. weiter unten). Wir finden sie deshalb bei Haupt-, Neben- und Kleinbahnen. Die beiden höchstgelegenen europäischen Bergbahnen, die Gornergrat- und die Jungfraubahn, wenden sie ebenso an, wie die mit Eisenquerschwellen belegten Strecken unserer Hauptbahnen oder die 60cm-Kleinbahn bei Wallücke.

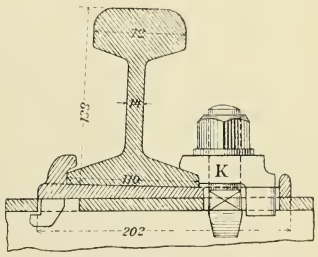


Abb. 94. Schienenbefestigung durch Hakenplatte und Klemmplättchen (K), (Preußische Staatsbahnen).

Haarmann, der sich um die Ausbildung des eisernen Oberbaues große Verdienste erworben hat, verbesserte die Querschwellenanordnung durch die 1882 zur Einführung gelangte und nach ihm benannte Hakenplatte. Diese besitzt nach Abb. 94 mehrere Haken, die eine höchst einfache Befestigung der Schienen mit der Schwelle gestatten. Ihre Keilform sichert auch ohne weiteres die Schienenneigung. Sie hat namentlich auf den deutschen Bahnen größere Verbreitung gefunden und ist in ihrer neueren Form als „Zapfenplatte“ im Jahre 1899 auch in China zur Anwendung gebracht. Bei Holzschwellen fällt der untere Haken fort.

Stuhlschienen findet man selten durch Eisenschwellen gestützt. Die Engländer ziehen im allgemeinen Holzschwellen vor, gleiches gilt von dem an Wäldern reichen Nordamerika.

Nach dem oben geschilderten Vorgange Barlows sind auch für die stetige Unterstützung der Fahrschienen durch Langschwellen eine Anzahl verschiedener Oberbauanordnungen zu mehr oder weniger ausgedehnter Anwendung gelangt. Es seien hier nur die Bauarten Hilf, Hohenegger, Haarmann genannt. Sie alle haben auf die Dauer den

Erwartungen nicht entsprochen, alle erwiesen sich den mannigfaltigen Angriffen im Betriebe als nicht genügend widerstandsfähig. Teils sind sie wieder entfernt und durch Querschwellenoberbau ersetzt, teils werden sie noch einstweilen aufgebraucht. Deutschland und Österreich sind die Hauptversuchsländer hierfür gewesen.

Bildet man Fahrschiene und Langschwelle als ein Ganzes aus, so erhält man die einteilige Schwellenschiene, wie sie nach früherem schon 1849 von Barlow als „Sattel-", 1854 von Adams als „Trägerschiene" zur Ausführung gebracht ist. Im Jahre 1865 erstand sie neu durch Hartwich, der eine Breitfußschiene mit sehr hohem Stege verwendete. Diese ruhte unmittelbar in der Bettung. Die Spurweite wurde nach Abb. 95 durch Querstangen gesichert. Die Hartwichschienen sind am

Abb. 95. Hartwichs Schwellenschiene.

Rhein und in Süddeutschland mehrfach in Benutzung genommen, erfüllten aber die auf sie gesetzten Hoffnungen ebensowenig wie ihre englischen Vorläufer . . . „da es hart sich fuhr auf ihnen, und das Gleis zur Seite wich." Dasselbe Los teilte eine dreiteilige Schwellenschiene von Scheffler in Braunschweig.

Ebenso hat sich auch die zweiteilige Schwellenschiene von Haarmann — 1884 erfunden und später verbessert — trotz ihrer Vorzüge bis jetzt keinen nennenswerten Eingang verschaffen können und ist auf Hauptbahnen ein interessanter Versuch geblieben, ebenso die 1892 von demselben in Vorschlag gebrachte einteilige Schwellenschiene, die sogenannte Herkulesschiene, welche 63 kg/m wiegt und eine Fußbreite von 200 mm besitzt.

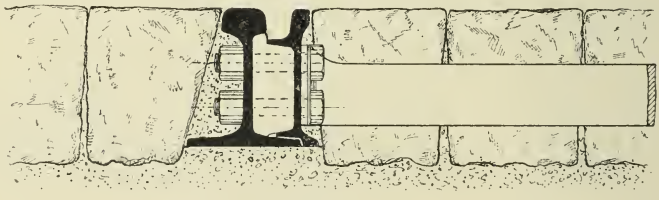


Abb. 96. Haarmanns Straßenbahnoberbau mit Schutzschiene.

Bei allen Schwellenschienen ist die erforderliche gute Entwässerung der Bettung eine schwierige Sache. Wegen der großen Höhe dieser Schienen (150 bis 200 mm) lassen sich auf Strecken, die gepflastert werden müssen, die Pflastersteine sicher und gut bis dicht an die Schiene legen (Abb. 96). Sie haben deshalb auch bei Straßen- und Hafenbahnen (Hannover, Hamburg, Köln, Triest) häufiger Verwendung gefunden. Die hier erforderliche Spurkranzrille wird durch eine Schutzschiene gebildet, der in den Gleisbogen durch stärkere Zwischenstücke leicht der nötige größere Abstand von der Hauptschiene gegeben werden kann. Der Zwischenraum beider Schienen wird mit Zement usw. vergossen. Häufiger wird für solche Bahnen die Phönixschiene benutzt, bei der die Rille gleich eingewalzt ist, Abb. 97, vergl. auch Abb. 77. Diese Form ist aus der englischen Rillenschwellenschiene von Winby & Levick

hervorgegangen, die Ende der 70er Jahre zuerst auf der Straßenbahn in Chemnitz verlegt wurde. Die älteste Form einer Rillenschiene für Straßenbahnen stammt von B. Adams. Die Rillenbreite ist für diese Bahnen im geraden Gleis etwa 30 mm. Sie muß so gewählt sein, daß die Hufe der Tiere nicht darin eingeklemmt werden. Die Spurweite wird hier durch Spurstangen gesichert. Die Rillenschienen für elektrische Straßenbahnen werden jetzt bis 200 mm Höhe bei 180 mm Fußbreite und 60 kg/m Gewicht verlegt (Düsseldorf, Frankfurt a. M., Hamburg).

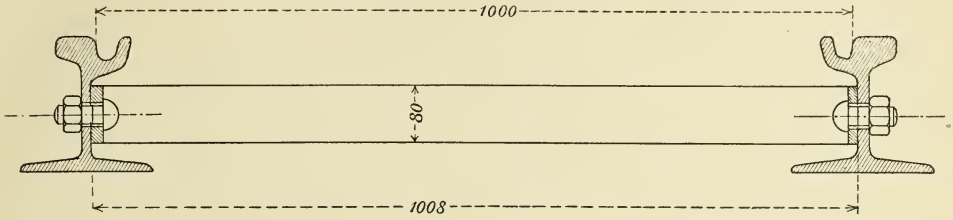


Abb. 97. **Rillenschienengleis.**

Da in Tropengegenden, wie schon erwähnt, Holzschwellen durch Termiten und Witterungseinflüsse schnell zerstört werden, so verwendet man dort vielfach auch eiserne Einzelunterlagen in Glocken- oder Plattenform. Sie wurden zuerst 1846 von Greaves als gußeiserne Glocken und fast gleichzeitig von Poncelet in flacher Form, beide für Stuhlschienen, in Vorschlag gebracht. Letzterer verlegte sie 1848 auf der Mecheln-Antwerpener Bahn, Greaves 1859 in Ägypten. Beide Bauarten haben bis in die Neuzeit eine ganze Schar von Nachahmungen gefunden. In den 70er Jahren stellte Livesey solche Unterlagen aus gepreßtem Eisenblech für eine ostindische Bahn her. Die plattenförmigen Anordnungen erleichtern das Unterstopfen mit Bettungsmaterial; bei den Glocken wird es zudem durch Regengüsse leichter ausgespült. Einzelunterlagen liegen aber nie so fest in der Bettung wie Schwellen, namentlich Holzschwellen, die nach Ansicht alter erfahrener Eisenbahningenieure immer noch den besten Oberbau bei sachgemäßer Herstellung und Unterhaltung ergeben. Jene müssen deshalb nach Abb. 98, die die erste Ausführung von Greaves mit ruhendem Stoß und einfacher Keillasche zeigt, paarweise durch Querstangen in ihrer gegenseitigen Stellung gesichert werden, damit die Spurweite nicht verloren geht. Dieser Oberbau hat große Verbreitung in Ägypten, Indien, Argentinien usw. gefunden.

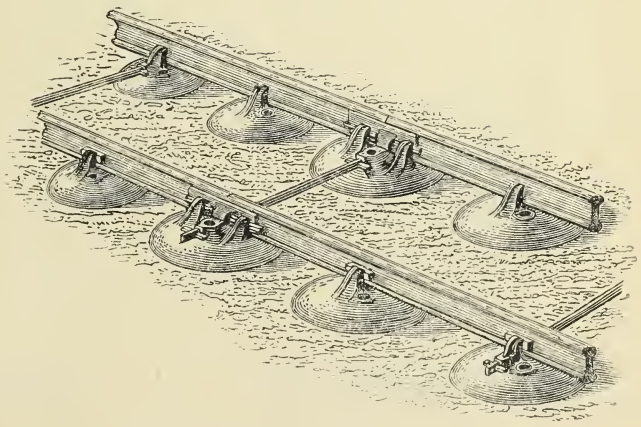


Abb. 98. **Greaves' Glockenunterlagen, 1859.**

Eine eigentümliche Erscheinung viel befahrener Gleise ist das bereits oben genannte Wandern der Schienen. Es tritt namentlich bei

zweigleisigen Strecken auf und zwar da, wo regelmäßig gebremst wird, wie z. B. auf stark geneigten Gefällstrecken. Seine Ursachen sind u. a. das Schleifen der Spurkränze an den Schienen, die Stoßwirkung der Räder auf die Schienenenden beim Überspringen der Stoßlücken sowie die Reibung der gebremsten Räder auf den Schienen. Mittel zur Verhütung des Wanderns sind u. a. halbrunde Ausklinkungen des Schienenfußes an den Befestigungsstellen der Schienen, in die dann die Schwellenschrauben oder Hakennägel eingreifen (Pariser Stadtbahn). Derartige Ausklinkungen im Fuße sind aber bei Stahlschienen nicht zweckmäßig, da sie zu Rissebildungen und Brüchen Anlaß geben können, auch nicht immer genügend wirksam sind. Besser ist das auf den preußischen Staatsbahnen übliche Mittel, die Ausklinkungen in die Laschen zu legen, wie es Abb. 84 zeigt.*) Auf einzelnen belgischen und französischen Bahnen greifen die Schwellenschrauben auch wohl durch den wagerechten Ansatz der Laschen. Beim Stuhlschienenoberbau reichen die Laschen von Stuhl zu Stuhl und sichern dadurch die Schienenlage. Auch besondere „Stemmlaschen", die an der Außenseite der Schiene angeordnet werden (in der Regel zwei Stück für eine Schiene) stehen seit Ende der 90er Jahre als wirksames Mittel gegen das Wandern in Benutzung.**)

Spurerweiterung, Übergangsbogen, Schienenüberhöhung.

Die Räder der Eisenbahnfahrzeuge sind zwecks sicherer Führung im Gleise mit Spurkränzen versehen, Abb. 99. Diese müssen wegen der unvermeidlichen Unregelmäßigkeiten der Schienenlage und gleichzeitig zur Herabminderung der Abnutzung von Rad und Schiene Spielraum zwischen den Schienenköpfen haben. Er ist auf den nahezu

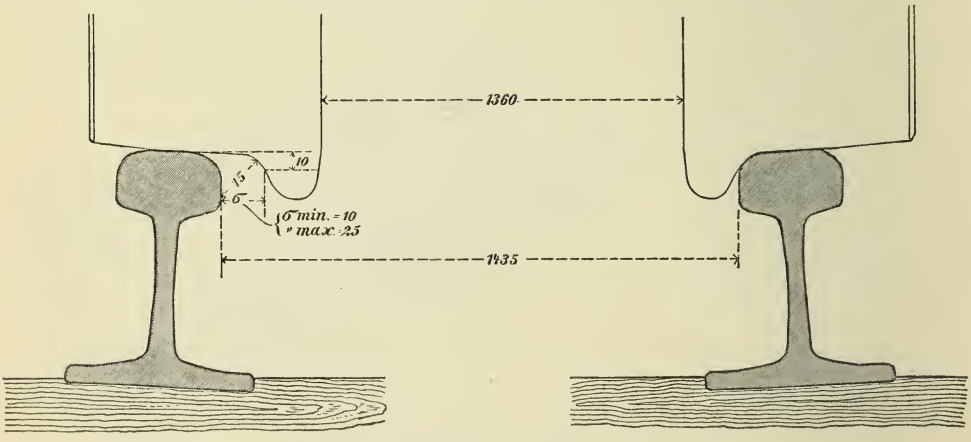


Abb. 99. Spielraum des Spurkranzes im geraden Gleise, wenn ein Rad dicht an der Schiene liegt.

100 000 km Betriebslänge messenden Bahnen des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen (vergl. Abschnitt „Wagen") für das gerade Vollspurgleis mit mindestens 10 und höchstens 25 mm vorgeschrieben.***) Auf englischen Bahnen beträgt dieser Spielraum nur die Hälfte des letzteren

*) Andere Mittel vgl. in Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1904, S. 1852.
**) Zentralblatt der Bauverwaltung 1897, S. 409; dgl. 1899, S. 5.
***) Über den auf deutschen Bahnen bis 40 mm zulässigen Spielraum bei den fraglichen Mittelrädern, desgleichen über das Weglassen der Spurkränze an solchen Rädern vgl. § 31 der Bau- und Betriebsordnung.

Wertes, was nach Ansicht der englischen Eisenbahningenieure das Schlingern der Wagen im geraden Gleis dämpft, also sanfteres Fahren bewirkt.

Die Hohlkehle des Spurkranzes wird allgemein mit einem etwas größeren Halbmesser ausgerundet als die beiden seitlichen Abrundungen des Schienenkopfes, weil dadurch Rad und Schiene geschont werden. Auf den preußischen Staatsbahnen beträgt dieser Unterschied 1 mm, vergl. Abb. 99 (Halbmesser der oberen seitlichen Schienenkopfabrundung = 14 mm).

Tritt ein Fahrzeug in eine Gleiskrümmung ein, so übernimmt der Spurkranz des vorderen Außenrades die Führung und bewirkt die Richtungsänderung. Die Schiene übt hierbei eine starke Pressung auf den Spurkranz aus und ebenso umgekehrt dieser auf die Schiene (Wirkung = Gegenwirkung). Diese Pressung ruft Abnutzung an Schiene und Spurkranz hervor, erhöht daher den Zugwiderstand und zwar um so mehr, je weniger die Radachsen in den Gleisbogen sich nach deren Krümmungsmittelpunkt einstellen. Ein zweiachsiges Fahrzeug mit „steifen“ Achsen (vergl. S. 285) und entsprechendem Radstand stellt sich in scharfen Krümmungen derart übereck ein, daß das vordere Außenrad sowie das hintere Innenrad gegen die Fahrschiene gedrängt wird. Bei drei- und mehrachsigen Fahrzeugen, deren Achsen in einem gemeinsamen Rahmen gelagert sind, würden die Mittelachsen beim Durchfahren scharfer Gleisbogen eine erhebliche Pressung gegen die Innenschienen ausüben. Dieser Übelstand wird gemindert durch einen gegen Abb. 99 größer gewählten Spielraum des Mittelradspurkranzes im Gleis, desgleichen durch einstellbare oder seitlich verschiebbare Achsen, sowie namentlich durch eine Spurerweiterung des gekrümmten Gleises. Letztere gewährt auch dem Spurkranze des Innenrades der Endachse den nötigen Spielraum an der Schiene. Viele Bahnverwaltungen geben allen Krümmungen unter 1000 m Halbmesser eine solche Spurerweiterung, deren Größe von dem Krümmungshalbmesser abhängig ist. Vom Unterausschuß des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen ist i. J. 1892 hierfür die empirische Formel*) empfohlen worden:

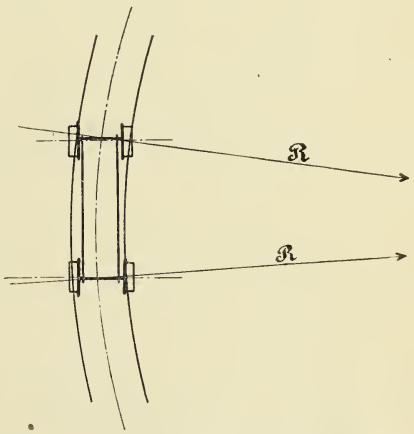


Abb. 100. **Stellung der Räder eines zweiachsigen Fahrzeuges (mit steifen Achsen) in der Gleiskrümmung.**

$$\text{Spurerweiterung in mm} = \frac{(1000 - R_m)^2}{27\,000},$$

worin R den Krümmungshalbmesser in Metern bezeichnet. Hiernach ergibt sich für verschiedene Werte von R nachstehende Übersicht, in der auch die auf den preußischen Staatsbahnen**) üblichen Werte wiedergegeben sind:

Krümmungshalbmesser R_m =	1000	800	600	500	400	300	200	180	100
Spurerweiterung in mm =	0	1,5	6	9	13	18	24	25	30
Preußische Staatsbahnen =	0	3	9	12	15	19	24	26	30

*) Vgl. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1899, S. 238.
**) Oberbauanordnungen der preußischen Staatsbahnen 1902, S. 18.

Über das zweckmäßigste Maß der Spurerweiterung, ja auch über deren Notwendigkeit, gehen die Ansichten der Eisenbahnverwaltungen auseinander. Auf den österreichischen und bayerischen Staatsbahnen z. B. wird jenes größer gewählt, als vorstehende Formel ergibt. In Frankreich und England wiederum wird auf manchen Bahnen überhaupt keine Spurerweiterung gegeben. Die deutsche Bau- und Betriebsordnung (§ 9) schreibt eine Spurerweiterung für Gleisbogen mit einem Halbmesser von weniger als 500 m vor; diese darf jedoch auf Hauptbahnen 30 mm nicht übersteigen, auf Nebenbahnen nicht 35 mm. Die größere Spur wird in der Regel durch Hinausrücken der Innenschiene erzielt.

Übergangsbogen. Tritt ein Fahrzeug aus der Geraden in die Krümmung ein, so erleidet es einen Stoß, der um so stärker ausfällt, je kleiner der Krümmungshalbmesser und je größer die Fahrgeschwindigkeit ist. Um diese Stoßwirkung zu mildern bezw. zu beseitigen, legt man zwischen die Gerade und die Krümmung einen Übergangsbogen derart ein, daß der Krümmungshalbmesser aus dem Wert R = unendlich groß, den er in der geraden Strecke hat, allmählich in den Wert $R = R$ des kreisförmigen Gleisbogens übergeht. Es ist dies der Ausgleich in wagerechter Ebene.

Schienenüberhöhung. Auch in senkrechter Richtung ist auszugleichen, um die Fliehkraft aufzuheben. Diese Kraft wirkt auf jedes, die Krümmung mit gewisser Geschwindigkeit durchfahrende Fahrzeug. Sie sucht es nach außen zu drängen, ähnlich wie eine bewegte Schleuder die Hand nach außen zieht; die Spurkränze der einen Fahrzeugseite werden daher gegen die Außenschiene gepreßt. Nach einem Lehrsatz der Mechanik ist die Größe der Fliehkraft $F = \frac{G}{g}\frac{v^2}{R}$, worin G das Gewicht des Fahrzeuges in kg, g die Erdbeschleunigung (= 9,81), v die sekundliche Fahrgeschwindigkeit in m $\left(= \frac{V_{\text{km/st}}}{3{,}6}\right)$ und R den Krümmungshalbmesser in m bezeichnet.

Bei gleicher Fahrgeschwindigkeit ist die Wirkung dieser Kraft um so stärker, je kleiner R ist. Um ihren unter Umständen gefahrdrohenden Einfluß auszugleichen, überhöht man den äußeren Schienenstrang gegen den inneren, sodaß, wie Abb. 101 veranschaulicht, die Räder an der Außenseite der Fahrzeuge gehoben werden. Das damit gleichzeitig angehobene Lokomotiv- oder Wagengewicht hält der Fliehkraft das Gleichgewicht. F und G greifen im Schwerpunkt des Wagens an.

Ist nun gemäß Abb. 101 h die Überhöhung des äußeren Schienenstranges, s der Abstand beider Schienenmitten = Spurweite plus Schienenkopfbreite, so muß für den Gleichgewichtzustand die Mittelkraft aus G und F winkelrecht zu der durch h hervorgerufenen Neigung der Fahrbahn und auf deren Mitte gerichtet sein. Nach Abb. 101 ist dann:

$$\frac{h}{s} = \sin\alpha \quad \text{und} \quad \frac{F}{G} = \operatorname{tg}\alpha .$$

Da α in den meisten Fällen sehr klein ist, cos α also wenig von 1 sich unterscheidet, so kann die letzte Gleichung genügend genau für die Zwecke der Praxis geschrieben werden:

$$\frac{F}{G} = \sin\alpha = \frac{h}{s};$$

d. g.

$$h = s\frac{F}{G} = s\frac{G}{g}\frac{v^2}{RG} = \frac{s}{g}\frac{v^2}{R}.$$

Führen wir statt $v_{m/sek}$ die Fahrgeschwindigkeit in $V_{km/st}$ ein, so wird

$$h = \frac{s}{g} \cdot \frac{V^2}{3{,}6^2 R} = \frac{s}{127} \frac{V^2}{R} \text{ Meter.}$$

Bei der Berechnung von h ist streng genommen die Geschwindigkeit des schnellsten Zuges zu Grunde zu legen, mit der dieser die verschiedenen Krümmungen durchfährt. Für die langsamer fahrenden Züge, insbesondere für die Güterzüge, fällt dann aber dieser h-Wert zu groß aus und deren Räder würden die Innenschiene zu stark pressen, was nachteilig wäre. Da ferner bei der Ableitung obiger Formel radiale Einstellung aller Radachsen in der Gleiskrümmung stillschweigend vorausgesetzt wurde, diese aber nach dem zu Abb. 100 Gesagten nicht vorhanden ist, so ist obiger h-Wert auch schon theoretisch zu groß. Aus beiden Gründen wird deshalb die Überhöhung in der Praxis kleiner gewählt als obige Gleichung sie ergibt. Für Vollspur wird vielfach nach der von dem erwähnten Unterausschuß bezw. von Rüppell aufgestellten empirischen Formel

$$h = 0{,}5 \frac{V_{km/st}}{R_m} \text{ Meter}$$

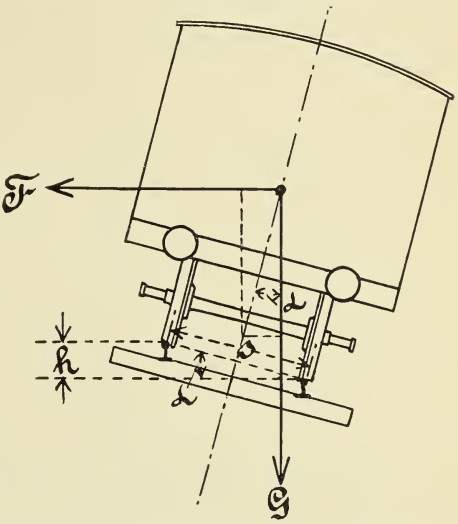


Abb. 101. **Ausgleich der Fliehkraftwirkung.**

gerechnet. Im Gebiet des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen ist die Überhöhung für Krümmungen von 500 m abwärts vorgeschrieben. Viele Verwaltungen überhöhen jedoch schon in wesentlich flacheren Bogen. Auf den preuß. Staatsbahnen z. B. geschieht es schon von 5000 m Halbmesser abwärts und zwar nach der letztgenannten Formel. Die größte Überhöhung, die hier im Anschluß an die nachstehenden Vorschriften der Bau- und Betriebsordnung gegeben wird, beträgt 125 mm für Hauptbahnen und 135 mm für Nebenbahnen.*) In den Weichenkrümmungen fällt die Schienenüberhöhung fort.

In den Gleisbogen von bestimmtem Krümmungshalbmesser abwärts muß nun die in der geraden Strecke zulässige größte Fahrgeschwindigkeit entsprechend ermäßigt werden, damit bei ihrem Durchfahren dieselbe Betriebssicherheit herrscht wie im geraden Gleis, vgl. auch S. 109.

Die in den einzelnen Gleisbogen zulässige größte Geschwindigkeit ist für die deutschen Bahnen seit dem 1. Mai 1905 durch die neue Bau- und Betriebsordnung wie folgt vorgeschrieben:

a) Auf Hauptbahnen.

In Krümmungen vom Halbmesser	km/st	In Krümmungen vom Halbmesser	km/st
1300 m	120	600 m	85
1200 „	115	500 „	80
1100 „	110	400 „	75
1000 „	105	300 „	65
900 „	100	250 „	60
800 „	95	200 „	50
700 „	90	180 „	45

*) Oberbaubuch 1902, desgl. Anweisung für das Verlegen des Oberbaues auf den preuß. Staatseisenbahnen, Mai 1906.

b) Auf Nebenbahnen.

In Krümmungen vom Halbmesser	km/st	In Krümmungen vom Halbmesser	km/st
200 m	50	120 m	30
180 „	45	100 „	25
150 „	40		

Aber auch durch die Gefällstrecken wird der Höchstgeschwindigkeit eine Grenze gezogen. Die genannte deutsche Vorschrift setzt folgende Werte fest:

a) Hauptbahnen.

In Gefällen von	km/st	In Gefällen von	km/st
3,0 ‰	120	15,0 ‰	75
5,0 „	105	17,5 „	70
7,5 „	95	20,0 „	65
10,0 „	85	22,5 „	60
12,5 „	80	25,0 „	55

b) Nebenbahnen.

In Gefällen von	km/st	In Gefällen von	km/st
25 ‰	50	35 ‰	35
30 „	40	40 „	30

In Krümmungen, die zugleich im Gefälle liegen, gilt die kleinere der aus beiden Zahlengruppen sich ergebenden Geschwindigkeiten.

Beispiel: α) Welche Überhöhung muß der Außenstrang einer in der Wagerechten liegenden, von Schnellzügen zu durchfahrenden Krümmung vom Halbmesser $R = 300$ m erhalten, wenn die regelrechte Spurweite 1435 mm, die Spurerweiterung 18 mm und die Schienenkopfbreite 60 mm, s also $1435 + 18 + 60 = 1513$ mm beträgt? Nach a) ist $V = 65$ km/st zulässig, daher die theoretische Überhöhung:

$$h = \frac{1{,}513}{127} \frac{65^2}{300} = 0{,}166 \text{ m} = 166 \text{ mm};$$

die auszuführende nach der Rüppellschen Formel:

$$h = 0{,}5 \frac{65}{300} = 0{,}108 \text{ m, abgerundet} = 110 \text{ mm};$$

β) Liegt die 300 m-Krümmung im Gefälle von 25 ‰ (1 : 40), so darf V nach 2a) nur 55 km/st höchstens betragen; die theoretische Überhöhung demgemäß:

$$h = \frac{1{,}513}{125} \frac{55^2}{300} = 0{,}120 \text{ m} = 120 \text{ mm};$$

die auszuführende nach Rüppell:

$$h = 0{,}5 \cdot \frac{55}{300} = 0{,}092 \text{ m, abgerundet} = 90 \text{ mm}.$$

Die Überhöhung des äußeren Stranges gilt nach der deutschen Bau- und Betriebsordnung mit Recht als „anerkannte Regel der Ingenieurwissenschaft". In Nordamerika trägt man ihr sogar dahin Rechnung, daß auf zweigleisigen Strecken der h-Wert in dem für die Talfahrt benutzten Gleise größer gewählt wird als in dem anderen, der langsameren Bergfahrt dienenden.

Übergangsrampen. Die Überhöhung h muß nun am Anfang der Gleiskrümmung schon voll vorhanden sein; da aber im geraden Gleis

beide Schienen gleich hoch liegen, so muß sie durch eine möglichst lange, mindestens aber $300 \times h$ lange Übergangsrampe allmählich herbeigeführt werden. Je größer die Fahrgeschwindigkeit ist, desto flacher muß diese Rampe sein. Auf der Schnellbahnstrecke Marienfelde-Zossen des Jahres 1903 kommen neben Krümmungen von 4000 und 6000 m Halbmesser auch zwei von je 2000 m vor. Die Schienenüberhöhung beträgt in diesen letzteren zwei Bogen je 80 mm. Während nun sonst eine Rampenlänge von $80 \times 300 = 24\,000$ mm $= 24$ m genügt hätte, mußten hier die zwei Rampen auf Grund der Beobachtungen beim Befahren 100 m lang gemacht werden, das gibt ein Ansteigungsverhältnis von 1 : 1250 (statt 1 : 300). Erst dadurch gelang es, den Einlauf der Wagen stoßfrei zu gestalten.*)

Die Rampe wird in den vorhin genannten Übergangsbogen gelegt, so daß in ihm außer dem wagerechten auch ein senkrechter Ausgleich vor sich geht. Nach der Lehre von der Mechanik wird der Übergang von der Geraden zum Gleisbogen nach einer kubischen Parabel vermittelt, deren Parameter nach der Fahrgeschwindigkeit angenommen wird.

Entgegengesetzte Krümmungen der durchgehenden Hauptgleise sind durch eine „Zwischengerade" zu verbinden, die zwischen den Endpunkten der Überhöhungsrampen mindestens 30 m auf deutschen Hauptbahnen und 10 m auf Nebenbahnen lang sein muß. Es wird dadurch der Gang der Fahrzeuge ein sanfterer, da der Übergang aus ihrer einen Schiefstellung in die entgegengesetzte nicht unvermittelt erfolgt. Auf der S. 40 u. 41 erwähnten Mexikanischen Südbahn Veracruz-Mexiko sind die sich oft sehr zahlreich folgenden entgegengesetzt laufenden Krümmungen ohne Zwischengerade angeordnet, was nach dem Gesagten fehlerhaft ist nnd ein für die Reisenden höchst unangenehmes Fahren im Gefolge hat.

Neigungswechsel. Die Neigungswechselstellen in durchgehenden Hauptgleisen müssen zwecks allmählichen Überganges ausgerundet werden, was auf deutschen Hauptbahnen nach einem Kreisbogen von mindestens 5000 m Halbmesser, auf Nebenbahnen von mindestens 2000 m zu erfolgen hat; nur in und vor Stationen kann auch bei Hauptbahnen auf 2000 m Halbmesser herabgegangen werden. Der Scheitelpunkt zweier Gegenneigungen von mehr als 5‰ (1 : 200) ist aus gleichem Grunde auf mindestens 500 m Länge abzuflachen. Näheres hierüber vergl. § 7 Nr. 8 der deutschen Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung.

Zwangsschienen in Gleisbogen. In England sucht man das Durchfahren scharfer Gleisbogen dadurch noch wirksam zu sichern, daß in Kurven von 200 m abwärts neben dem inneren Strange eine in ganzer Länge der Krümmung sich erstreckende Streich-, Zwangs- oder Führungsschiene (Check rail) eingelegt wird, Abb. 102. Sie soll den Seitendruck der Spurkränze gegen den äußeren Schienenstrang mildern und gleichzeitig auch die Räder am Aufsteigen auf die Außenschiene hindern, was bei dem die Schiene anschneidenden Vorderrade der Fahrzeuge unter Umständen möglich sein kann. Die Streichschiene ist gegen die Fahrschiene um 13 mm höher gelegt, mit ihr in gemeinschaftlichen Stühlen gelagert und durch Holzkeile gehalten, Abb. 103. Die Spurkränze der Räder schleifen oft mit kreischendem Geräusche an diesen Zwangsschienen her, das namentlich auf den mit vielen scharfen Gleisbogen angelegten Londoner Untergrundbahnen eine unangenehme Reisezugabe bildete. Derartige Führungsschienen finden sich auch auf den Hauptbahnen, namentlich im Gebirge und auf deren Nebenstrecken (Schottische Hochlandbahn Perth-Inverneß usw.). Sie verraten sich dem Reisenden durch das

*) Glasers Annalen 1903, Bd. II, S. 199.

erwähnte Geräusch. — Die als Hochbahn angelegte Berliner Stadtbahn, deren Betrieb sich in manchen Punkten an den der Londoner Untergrundbahn anlehnt, hat ebenfalls in ihren scharfen Gleisbogen von diesen Führungsschienen Gebrauch gemacht, dgl. die Albulabahn usw.

Weichen. Der Übergang der Fahrzeuge von einem Gleis auf das andere wird gewöhnlich durch Weichen, seltener durch Drehscheiben oder Schiebebühnen bewirkt. Die Weichen wurden anfangs als sogenannte Schleppweichen nach Abb. 104 gebaut. Diese Bauart ist höchst einfach, aber es ist ein Schienenstrang stets unterbrochen, so daß bei falscher

Abb. 102. Lage der Streichschiene in Gleisbogen.

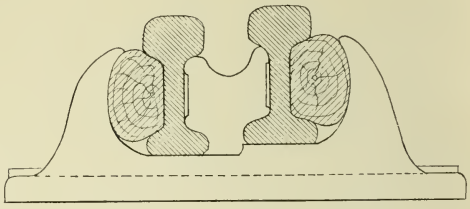


Abb. 103. Lagerung der Streichschiene.

Weichenstellung eine Entgleisung unvermeidlich wird. Heutigestags findet sich diese Weiche in Europa nur noch vereinzelt in Fabrikgleisen und bei kleinen Industriebahnen, namentlich solchen mit tierischer Zugkraft, in Amerika dagegen kommt sie auch in Hauptbahngleisen vor. Nach Abb. 105 u. 106 legt man in der Regel Rechts- und Linksweichen, zuweilen auch dreifache Weichen (Abb. 107) an. Abb. 108 zeigt eine symmetrische Weiche, bei der beide Gleise von der Weichenmitte aus gleich stark abgebogen sind. Kreuzen sich zwei Gleise, so kann man sie nach Abb. 109 durch eine doppelte Kreuzungsweiche, auch „ganze englische Weiche" genannt, derart miteinander in Verbindung bringen, daß die Fahrzeuge auf einen beliebigen Strang übergehen können. H in Abb. 107 u. 109 wird Herzstück genannt. Die beiden inneren Schienen sind an der Weichenspitze unterbrochen. Die Stützung des Rades beim Übergang über diese Lücke erfolgt durch eine der beiden kurzen Flügelschienen neben der Spitze, während die sichere Führung durch die Zwangsschiene Z und das andere Rad erzielt wird. Z wird auch Radlenker genannt und besitzt entweder gleichen Querschnitt wie die Fahrschiene oder neuerdings auch Winkelform. Damit das Fahrzeug möglichst sanft durch die Weiche abgelenkt wird, schärft man die beweglichen Weichenschienen (Weichenzungen) nach dem freien Ende hin zu.

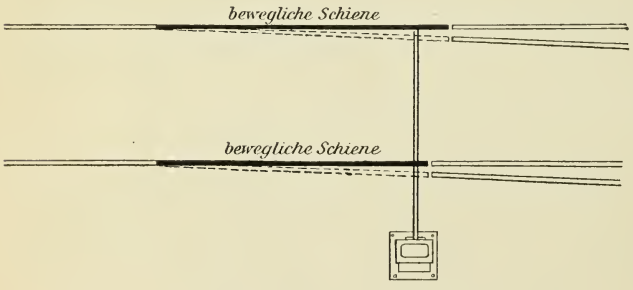


Abb. 104. Schleppweiche, 1835.

Sicherheitsweichen nach Abb. 110 u. 111 bezwecken die Ablenkung von Fahrzeugen, die irrtümlicherweise oder ohne Vorwissen des den Fahrdienst regelnden Beamten aus einem Seitenstrange nach einem Hauptgleis sich bewegen, also den in diesem etwa befindlichen Fahr-

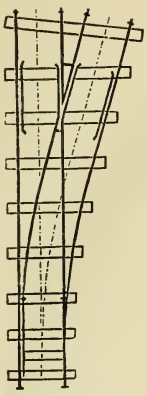


Abb. 105.
Rechtsweiche.

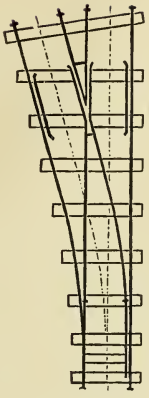


Abb. 106.
Linksweiche.

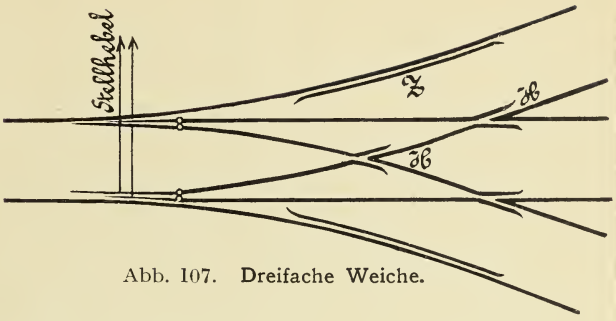


Abb. 107. Dreifache Weiche.

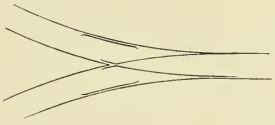


Abb. 108. Symmetrische Weiche.

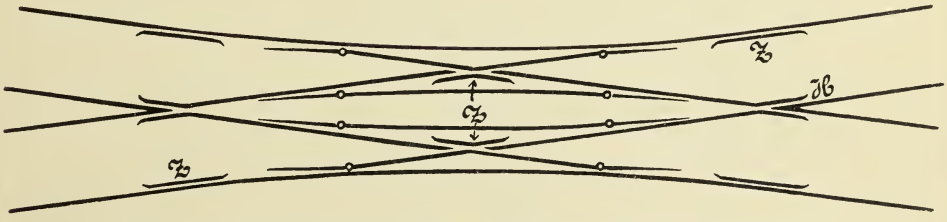


Abb. 109. Doppelte Kreuzungsweiche, sogenannte englische Weiche.

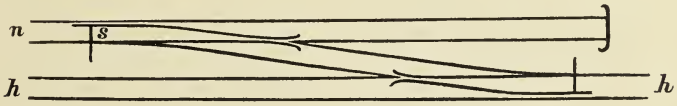


Abb. 110. Sicherheitsweiche.

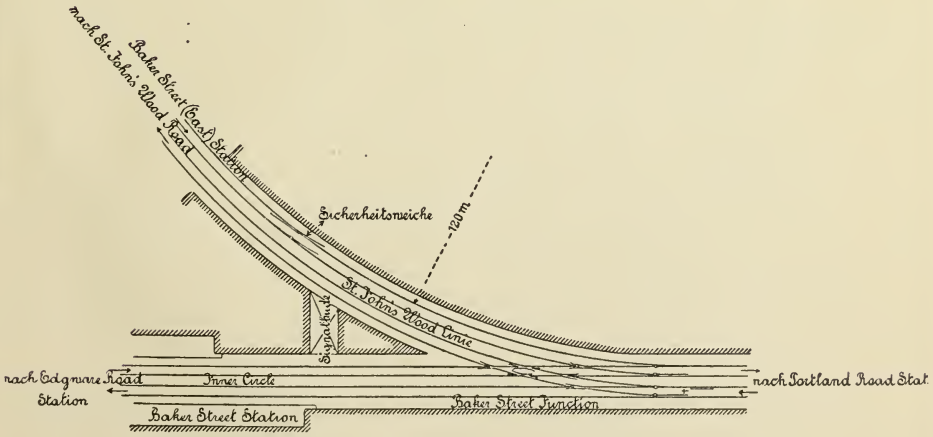


Abb. 111. Entgleisungsweiche auf der Londoner Metropoliten-Untergrundbahn.

zeugen gefährlich werden können. Die Sicherheitsweiche (s in Abb. 110) muß dann in ihrer Grundstellung stehen, d. h. so, daß die Verbindung mit dem Hauptgleis (h) aufgehoben ist. Jedes Fahrzeug des Seitengleises (n), das jetzt in die Weiche (s) gelangt, wird hier auf einen toten Strang geleitet, der frei oder in eine Sandschüttung ausläuft. Bei der Anordnung der Abb. 111 würde ein solches falsch laufendes Fahrzeug in der Entgleisungsweiche zum Entgleisen gebracht werden. Nur nach zuvoriger Entriegelung und Umstellung der Weiche s durch den dafür bestimmten Beamten — in England durch den Stellwerks- oder Signalwärter*) (signal man) — ist ein Übergang von dem Neben- auf das Hauptgleis möglich. Derartige Sicherheitsweichen finden sich auf allen englischen Bahnen. Sie sind dort seit langen Jahren bei Neuanlagen vorgeschrieben. Auch in Deutschland stehen Sicherheits- und Entgleisungsweichen in Benutzung.

Die Stellung der Weichen ist in der Regel die auf das gerade bezw. Hauptgleis (Grundstellung). Das Umlegen erfolgt entweder unmittelbar an ihrem Orte von Hand oder von einem erhöhten Punkte, dem sog. Weichenturme aus mittels langer Gestänge oder Drahtzüge (Weichenstellwerke). Hierbei kann man auch Preßluft, Druckwasser oder Elektrizität zu Hilfe nehmen. Näheres hierüber vergl. im Abschnitt „Signalwesen".

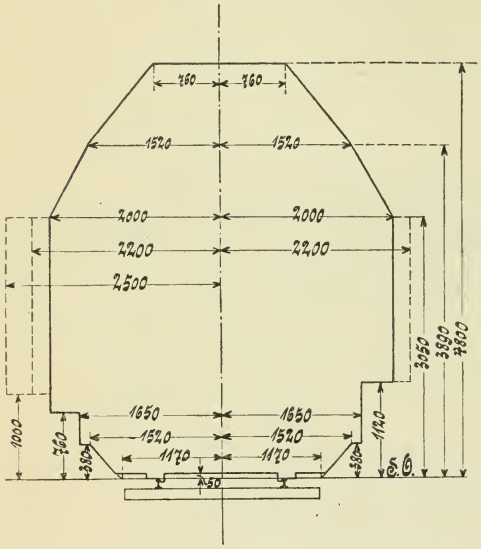


Abb. 112. Umgrenzung des lichten Raumes.

Gleisabstand. Nach der deutschen Bau- und Betriebsordnung muß der Abstand von Doppelgleisen auf der freien Strecke mindestens 3,5 m, der Abstand zwischen Gleispaaren oder einem Gleispaar und einem dritten Gleis mindestens 4,0 m von Gleis- zu Gleismitte betragen. Auf Bahnhöfen müssen alle Gleise — außer Überladegleisen — mindestens 4,5 m Abstand haben.

Umgrenzung des lichten Raumes. Ferner müssen sämtliche Gleise von baulichen Anlagen usw. mindestens bis zu der in Abb. 112 wiedergegebenen „Umgrenzung des lichten Raumes" freigehalten werden, wobei in Krümmungen auf die Spurerweiterung und Gleisüberhöhung Rücksicht zu nehmen ist. Hierbei gilt die linke Seite der Abb. 112 für die durchgehenden Hauptgleise und die sonstigen Ein- und Ausfahrgleise der Personenzüge, die rechte Seite für alle übrigen Gleise. Für diese ist das sonst übliche untere Höhenmaß von 760 mm auf 1120 mm vergrößert, damit bequem Ladebühnen für die Güterwagen, deren Fußboden etwa 1200 mm über den Schienen liegt, angelegt werden können. Für alle nach dem 1. Mai 1905 erfolgenden Neubauten von Hauptbahnen sowie von solchen Nebenbahnen, auf denen Militärzüge befördert werden, sind noch besondere, in Abb. 112 durch gestrichelte Linien angedeutete seitliche Spielräume von 0,2 bezw. 0,5 m Breite frei zu lassen.

*) Der Signalwärter (Stellwerkswärter) nimmt in England eine andere Stellung ein wie in Deutschland. Nicht nur bedient er das Weichenstellwerk, sondern er gibt auch selbständig und unabhängig von dem Stationsvorsteher die Ein- und Abfahrtsignale für die Züge usw. Dem letzteren liegt nur die Sorge um den Verkehr auf den Bahnsteigen ob.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 068759403